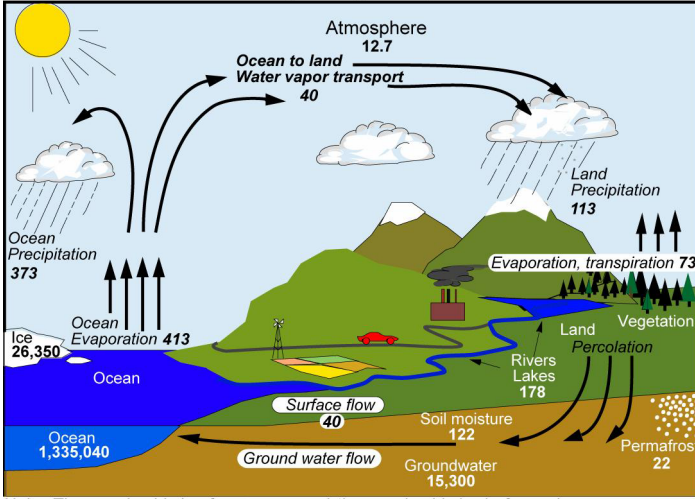


శ్రీ:

భూగర్భజలము

(క్షేత్ర పరిజ్ఞానంతో రూపొందించిన విజ్ఞాన దీపిక)



రచయిత

మక్కిన ఆంజనేయులు M.Sc., B.Ed.,

భూగర్భ జల శాస్త్రవేత్త

Retd. Assistant Director,
Andhra Pradesh Ground Water Department,
డోర్ నెం. 8-449, ఒంగోలు.

భూగర్భజలము

రచయిత

మక్కెన ఆంజనేయులు, M.Sc.,

భూగర్భజల శాస్త్రవేత్త.

ప్రథమ ముద్రణ: 16-09-2016

ప్రతులు : 1000

పేజీలు : 164

వెల రూ. : 150-00

©

MAKKENA ANJANEYULU, M.Sc., B.Ed.,
Retd. Assistant Director,
Andhra Pradesh Ground Water Department,
Doo No : 8-449,
ONGOLE, Prakasam Dist.
Cell : 9701833760

D.T.P. by :-

L.Durga Prasad,
Sanjay Graphics,
CHIRALA.
Cell : 9966156263

Printed at -

Karshak Art Printers,
HYDERABAD



*Dedicated to
all field officers of
Ground Water Investigations*

* * *

*The will power of my brothers
Makkena Subbarao*

*(who was the 1st former President of Milk Centre, Chandalur)
and the intellectual powers of my cousin brother*

Makkena Rama Dasu

*(who was the ranked student in his High School Days)
have inspired me to write this book.*

తొలిపలుకు

భూగర్భజలాన్ని గూర్చి తెలుగులో వ్రాయటం ప్రజావాహినిలో భూగర్భజలాంశమునకు అవగాహన కలుగ చేయుట కొరకే ఈ ప్రయత్నం చేయడమైనది. ఈ ప్రక్రియలో కొంత వరకైనా వారిలో అవగాహన కలుగుతుందని ఆశించి సులభశైలిలో సూటిగా కొన్ని సూత్రప్రాయంగా విన్నవించుట జరిగినది. బావుల మధ్య దూరాన్ని, లోతుపాతులను పాటించుటలో గానీ, వాడుకొను విధానములో గానీ, విధి విధానములు గమనించుటలో స్థల ఎంపికలోను, దీనిలో ఇవ్వబడిన సమాచారము వారిలో కొంత మార్పును తీసుకొని రాగలదని ఆశించవచ్చును. ప్రజలు సాంకేతికపరమైన విషయములను తెలుసుకొని ఒక అవగాహనతో ఈ భూగర్భజలాభివృద్ధికి తోడ్పడవలయును. శాఖాధిపతులు, పాలకులకు కూడా ఈ పుస్తకంలో ఇవ్వబడిన సమాచారము సరైన అవగాహన కలిగిస్తుంది. తెలుగులో పూర్తిగా వివరించలేదన్న నేపథ్యంలో కొన్ని అంశాలను విపులంగా ఇంగ్లీషులో కూడా అందించడం జరిగినది. (II Part) దీనిలో ఇవ్వబడిన సమాచారములు ఎక్కువగా క్షేత్ర పరిజ్ఞానంతో కూడుకొని వున్నవి. అందువలన ఇవి అన్ని అన్నివర్గాల వారికి ఒక స్థాయిలో భూగర్భజలాభివృద్ధిలో అవగాహన కలిగిస్తున్నవని విశ్వసిస్తున్నాము. దీనిని ఒక ప్రథమ సోపానముగా పరిగణించి మీరు ఎక్కువ అవగాహన పరిధిగల ప్రక్రియలకు ముందు, ముందు అధిగమించాలని కోరుకుంటున్నాను.

M. S. S. S.

భూగర్భజలం - పీరిక

జీవజాలముల మనుగడకు జలము అత్యంత కీలకమైనది. ఈ విశ్వాంతరాళంలో జలములేని చోట జీవుల ఉనికి లేదు. మనకు అవాస యోగ్యమైన ఈ భూమండలము నందు జలము ప్రధానముగా రెండు శ్రేణులలో లభ్యమగుచున్నది. (1) భూతల జలము, (2) భూగర్భజలము. ఈ రెండు శ్రేణులు పర్యావరణములోని ప్రధాన అంశమైన జలచక్రమునకు సంబంధించినవి.

ఈ జలచక్రభ్రమణములో అనువైన చోట్ల భూ ఉపరితలంపై భూతల జలం ఆవిర్భవించుచున్నది. నదులు, వాగులు మొదలగునవి. ఇవి అందరికీ దృగ్గోచరమైనటువంటి వనరులు. కానీ భూగర్భజలము అనువైన చోట్ల భూమిలోపల పొరలలోపలికి ఇంకి నిక్షిప్తము కాబడినటువంటి సహజ వనరులు. ఈ భూగర్భజలము అనేక విధములుగా నిక్షిప్తము చేయబడి, భూగర్భజలాశయములు ఏర్పడి స్వచ్ఛమైనదిగా అనేక చోట్ల మనకు లభ్యమగుచున్నది. అట్టి ప్రదేశమును గుర్తించుటకు తగిన సర్వేలు అవసరం. వాటిని అనువైన చోట్ల చేపట్టి భూగర్భ జలాన్ని వెలికితీయు నిర్మాణాత్మక బావుల స్థల ఎంపిక చేసిన మనము లభిపొంది, సదా భూగర్భజలాన్ని వాడుకొనగలవారము. ఈ ప్రక్రియలను తెలుపునదే భూగర్భజల శాస్త్రం (గ్రౌండ్ వాటర్ జియాలజీ).

విషయసూచిక

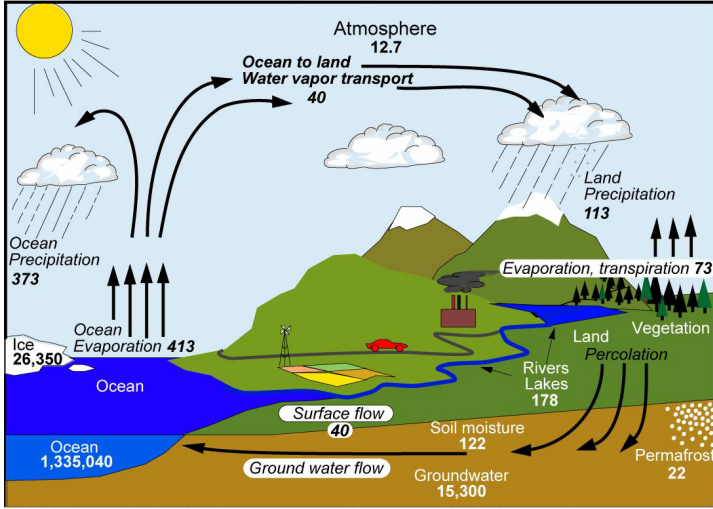
1. జలచక్రము (Hydrologic Cycle)	9
2. భూగర్భజల నిక్షిప్త ప్రక్రియ - భూమిపై నుండి క్రిందకు (Vertical Distribution of Ground Water)	12
3. యాక్వీఫర్స్	13
4. శిలాఫలకముల నీటిని నిలువరించు - లభ్యత చేకూర్చు ధర్మములు (Water bearing and yielding properties of rocks)	15
5. భూగర్భజల వినియోగము	17
6. భూగర్భజలము భూతల రూపాంతరముల ప్రాధాన్యత	18
7. భూగర్భజలాలు - కొండలు, నదులు ప్రాధాన్యత (Role of Regional Structures in Ground Water Accumulation)	22
8. వివిధరకముల శిలాఫలకాలు - భూగర్భజల వనరులు (Ground Water reserves in different rock types)	25
9. భూగర్భజల కాలుష్యం (Pollution of Ground Water)	28
10. భూగర్భజల నాణ్యత	30
11. భూగర్భజలం - క్షేత్ర పరిజ్ఞాన సూచనలు	34
12. భూగర్భ జలాన్వేషణ విధానములు (Ground Water Surveys)	37
13. కృత్రిమ భూగర్భ జలాభివృద్ధి (Artificial Recharge of Ground Water)	38
14. సముద్రపు నీరు ముందుకు చొచ్చుకొని వచ్చుట (Sea Water Intrusion)	41
15. బావుల స్థల ఎంపికలో మధ్య దూరము - లోతుపాతులు నియమ నిబంధనలు	43
16. భూతల భూగర్భజలాల సమన్వయ వినియోగం (Conjunctive Use)	45

17. అనువైన ఛిద్రరూప శిలాఫలకాలు -
భూగర్భజలాలకు నెలవులు (Optimum Weathering) 47
18. ప్రకాశం జిల్లా భూగర్భజలాశయాల ఉనికి 49
19. కృష్ణానదీ పరీవాహక ప్రదేశము - భూగర్భజలాల ఉనికి 53

Part II

20. Ground Water Conditions - Guntur District 59
21. Ground Water Conditions - Nellore District 63
22. Ground Water Provinces of India 66
23. Ground Water Provinces of A.P. 73
24. Hydrologic Cycle 79
25. Origin, Occurrence, Vertical Distribution and
Forms of Ground Water 82
26. Water-Bearing And Water Yielding Properties
of Rocks 94
27. Hydro Geological Importance of
Geomorphic Pattern 103
28. Optimum Weathering In Ground Water
Evalutation of Rock Formation 109
29. Water Sheds 115
30. Ground Water - Well Hydraulics -
Pumping Test 126
31. Piezometric Study 133
32. Cone of Depression - Interference Effects -
Spacing 139
33. Quality Deterioration of Ground Water
in Contact Zones of Different Rock Terrains 140
34. Aquaculture 143
35. Utility of Groundwater - Certain Guidelines 145
36. Important Definitions 148

1. జలచక్రము (HYDROLOGIC CYCLE)



Units: Thousand cubic km for storage, and thousand cubic km/yr for exchanges

Hydrologic Cycle

ఇది మనము క్రిందిస్థాయి నుండి నేర్చుకున్న అంశము. నీరు సముద్రము, నదులు మొదలగు వాని నుండి ఆవిరైపోయి, మేఘాలుగా మారి అనుకూల పరిస్థితులలో చల్లబడి వర్షించును. దీనిని మనము వర్షపాతం అందుము. ఇట్లు పడిన వర్షపాతము భూమిపై ఎత్తుపల్లముల ప్రదేశములను అనుసరించి నిలువరింపబడి నదులు, వాగులు, వంకలుగా మారి ప్రవహించుచూ, చివరకు మరలా సముద్రములో చేరుచున్నది. ఇట్లు భూతలముపై ప్రవహించుదానిని నీటి ప్రవాహమందురు. ఇట్లు ప్రవహించు

నప్పుడు భూమిలోని ఆక్రమిత శిలాఫలకాల ఉనికిని బట్టి చిద్రూప దశను బట్టి భూమిలోని పొరలోని రంధ్రసముదాయమును బట్టి భూమిలోనికి ఇంకి (Infiltration) నిక్షిప్తము చేయబడిన దానికే భూగర్భజలము అందురు. వర్షపాత ప్రవాహము జరుగునప్పుడు ఆయా ప్రదేశములో గల చెట్లు, చేమలు కొంత నీటిని వ్రేళ్ళ ద్వారా గ్రహించి నీటిని మరలా కొంత భాగాన్ని ఆవిరి రూపములో వదిలివేయ బడును. దీనిని భాష్పోచ్ఛేదము అందురు. ఇట్లు భూమిపై జల తరంగిణి నుండి ఆవిరి రూపమున వెలువడి మేఘాలుగా మారి వర్షించి, నదుల రూపములో భూగర్భజల ప్రక్రియలో చేరి సముద్రమునే మరలా చేరుచున్నది. ఇట్టి ప్రక్రియనే జలచక్రము అందురు. ఇది పర్యావరణమునకు సంబంధించిన అంశము.

Equation:

$$\text{Precipitation} = \text{Runoff} + \text{Infiltration} + \text{Evaporation} + \text{Transpiration}$$

If the surface of the soil is porous, some water will seep into the ground by a process known as 'Infiltration'. Some water moves through the surface channels, reaching rivers, lakes and eventually to the sea. This is called as *Overland flow*. This is also subjected to evaporation and transpiration throughout its movement. The soil moisture may be drawn into the rootlets of growing plants. After the plants use the water, it is transpired as vapour into the atmosphere. This phenomenon is called *Transpiration*.

Excess soil moisture is pulled downward by gravity. At some depth, the soil(or) rock is saturated with water. The top of the saturated zone is called water table. The water that is available below the water table is called *Ground water*. Ground water flows

through the rock and soil layers of the earth until it discharges as a spring or seepage into a stream, lake or ocean.

Water flowing in a stream can come from overland flow or from ground water that has seeped into the stream bed. The ground water contribution to a stream is known as *base flow*. The total flow in a stream is termed as *Runoff*.

Evaporation is not restricted to open water bodies such as oceans, lakes, streams and reservoirs. Precipitation intercepted by leaves and other vegetative cover can also evaporate.



2. భూగర్భజల నిక్షిప్త ప్రక్రియ - భూమిపై నుండి క్రిందకు (VERTICAL DISTRIBUTION OF GROUND WATER)

1. వర్షికల్ డిస్ట్రిబ్యూషన్ ఆఫ్ గ్రౌండ్ వాటర్ : భూగర్భజలము భూమి పైనుండి క్రిందకు ఈ విధముగా అమరియుండును.

(ఎ) గాలి, నీరులతో కూడుకున్న రంధ్ర సముదాయములో వున్న దానిని జోన్ ఆఫ్ యేరేషన్ అందురు. దీనిలో మూడు విభాగములు కలవు. (1) మట్టితో కలిసి వున్న నీరు, (2) గురుత్వాకర్షణ శక్తి వలన నిలువరించిన నీరు, (3) క్యాపిలరీ వాటర్ జోన్, రంధ్రసముదాయముల గొట్టముల ద్వారా పైకి నిలువరించిన నీరు.

(బి) భూగర్భజలము గల విభాగము జోన్ ఆఫ్ శాచురేషన్ (Zone of Saturation). ఈ విభాగము నందు అన్ని రంధ్రములు నీటితో నిక్షిప్తం చేయబడును. పై పేర్కొనబడిన విభాగములు ఈ క్రింది పటములో చూపబడినవి.

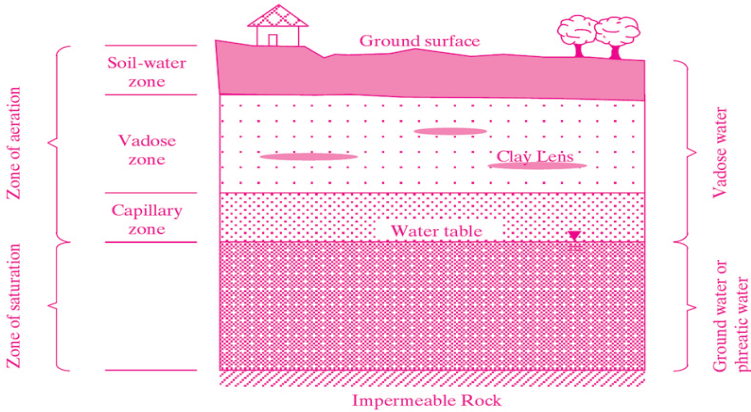


Figure 8.3

Vertical zones of subsurface water.

3. యాక్విఫర్స్

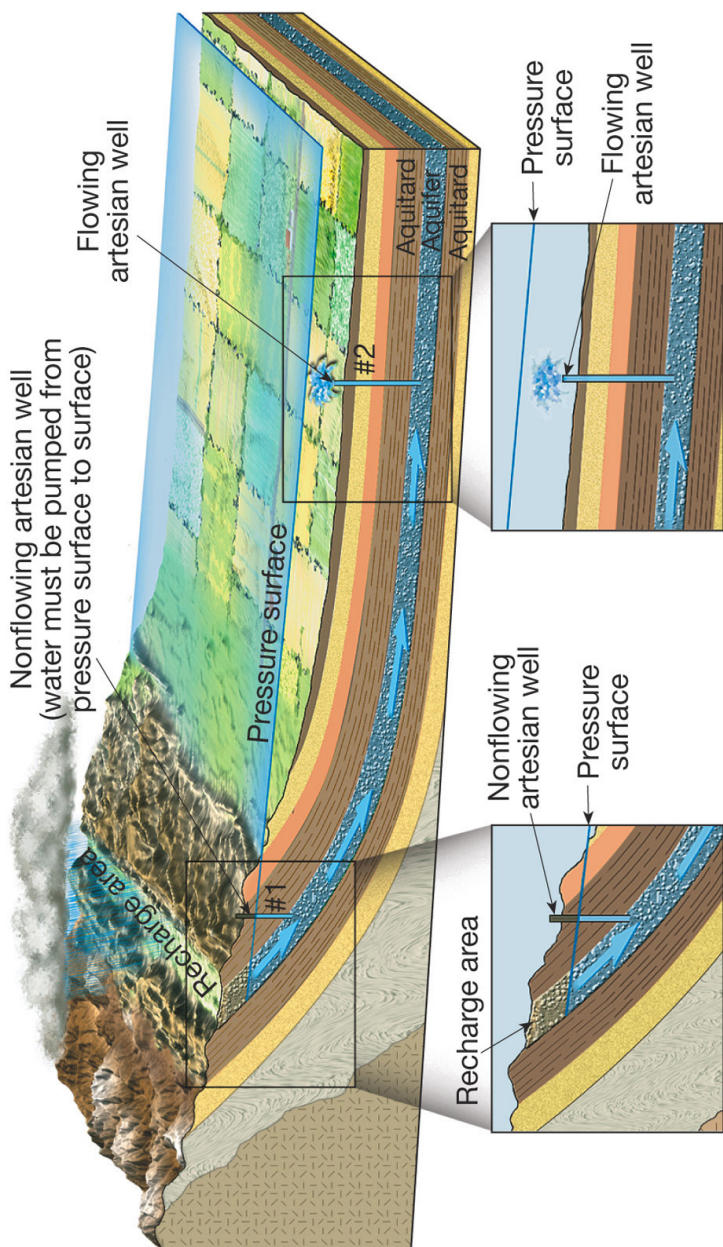
1. నీటిని నిలువరించి నిక్షిప్తం చేయు శిలాఫలకములను యాక్విఫర్స్ అందురు. ఇవి రెండు ప్రక్రియలు కలిగియుండును. ఒకటి నీటిని నిలువరించుట, రెండు నీటిని సంబంధిత రంధ్రముల ద్వారా కదలిక కలిగించుట. ఈ రెండు ప్రక్రియలు సక్రమముగా జరిగినప్పుడు భూగర్భ జలాశయములు ఏర్పడి మనకు లభి చేకూరును. ఉదా: ఇసుకరాయి.

2. యాక్విక్లూడ్ : ఈ శిలాఫలకముల నందు రంధ్రములు అతి చిన్నగా వుండి, నీటిని కదలిక లేని ప్రక్రియగా కలిగియుండును. అందువల దీనిలో చేరిన నీరు ఎటూ కదలిక లేక నిలిచిపోవును. ఇవి భూగర్భజలాభివృద్ధికి అనుకూలం కావు. నీటి నాణ్యత కూడా కలిగియుండదు. ఉదా : బంకమట్టి.

3. యాక్విఫ్యూజ్ : ఈ శిలాఫలకములో నీరు చేరుటకు రంధ్రములు వుండవు. అందువలన ఇది నీటిని నిలువరించలేదు. ఉదా : సాలిడ్ గ్రానైట్.

4. యాక్విటార్డ్ : దీనిని లీకియాక్విఫర్ అని కూడా అందురు. దీని యందు ఇసుక, మట్టి పొరలు ఒకదాని వెనుక ఒకటి అమరియుండును.

భూగర్భజల పీడన శక్తిని బట్టి కన్ఫైండ్ యాక్విఫర్ అనియు పీడన శక్తిని లేక నీటిమట్టమునకు పరిమితమైన దానిని అన్ కన్ఫైండ్ యాక్విఫర్ అనియూ వ్యవహరింతురు. కన్ఫైండ్ యాక్విఫర్లో నీటిమట్టము వాటర్ టేబుల్ పైన నిలిచియుండును. రెండవది వాటర్ టేబుల్ వరకే పరిమితమగును.



Aquifer - Artesian System

4. శిలాఫలకముల నీటిని నిలువరించు - లభ్యత చేకూర్పు ధర్మములు

(Water bearing and yielding properties of rocks)

నీటిని నిలువరించుటకు మరలా దానిని కదలించి లభ్యత గావించుటకు ఆక్రమిత శిలాఫలకములలోని రంధ్రసముదాయములు అనువైనవిగా వుండవలయును. అట్టి నిర్మాణాత్మకమైన శిలాఫలకాలు ఎక్కువ భూగర్భజలాన్ని నిక్షిప్తము చేసి లభ్యత కలుగునట్లు చేయును. ఇట్టి ప్రక్రియలో ఈ క్రింది ధర్మములు కలిగియుండవలయును.

- (ఎ) అనువైన రంధ్రముల సముదాయములు వుండవలయును (Effective Porosity).
- (బి) రంధ్రములలో చేరిన నీరు కదలుటకు వీలుగా వుండవలయును (Permeability).
- (సి) చేరిన నీరు నీటిమట్టముల వాలుతలములను బట్టి కదలికను కలిగి యుండును (Hydraulic Gradient).
- (డి) ఆక్రమిత శిలాఫలకములలో చేరిన నీరు నిక్షిప్తము చేయబడి వుండును (Storage Capacity - Retentivity).

ఇది ఆ ప్రదేశములో గల గురుత్వాకర్షణ శక్తి వలన కలుగును.

పై చెప్పినవన్నియూ అనువైన ప్రక్రియల్లోనే భూగర్భజలాన్ని సరైన మార్గములో నిలువరించి నిక్షిప్తము చేసి లభ్యత చేకూర్చగలదు. కావున శిలాఫలకముల ధర్మములు ఈ క్రింది విధముగా వుండవలయును.

Permeability = Specific yield + Specific retention

Specific yield \propto Effective Porosity

Hydraulic gradient \rightarrow Darcy law

Darcy's law states that the flow through the porous media is proportional to the head loss and inversely proportional to the length of the flow path.

$Q = KA \frac{dh}{dl}$; $V = \frac{Q}{A} = K \frac{dh}{dl}$ V is the darcy's velocity, specific discharge, 'K' is the hydraulic conductivity and $\frac{dh}{dl}$ is the hydraulic gradient.



5. భూగర్భజల వినియోగము

భూగర్భజలము నిత్యనూతనముగా వాడుకొని సహజవనరులలో ప్రధానమైనది. అందువలన దీనిని శాస్త్రీయ పద్ధతిలో వాడుకొనుచూ సదా లబ్ధి పొందవచ్చును. ఒక ఏరియాలోని భూగర్భజల నిల్వలను బట్టి వాడుకొను విధానమును నియంత్రించుకొనవలయును. ముఖ్యముగా బావులు మధ్య దూరాన్ని పాటిస్తూ ప్రభుత్వ భూగర్భజలశాఖ వారు నిర్దేశించిన లోతుపాతులను పాటిస్తూ వాడుకొనుట శ్రేయస్కరము.

బోరింగ్ బావుల ఫిల్టర్ పాయింట్ల నుండి భూగర్భజలాన్ని వాడుకొన్నప్పుడు డిశ్చార్జికి తగిన శక్తి గల మోటారు సెట్లను ఉపయోగించ వలెను. అట్లుగానిచో నిరంతర లభ్యతకు అంతరాయము కలిగి, ఫెయిల్యూర్స్ కు దారితీయును. ఇది అందరూ గమనించవలసిన విషయము. చాలా చోట్ల ఇట్టి ప్రక్రియలను గమనించి సరిచేయుట జరిగినది.

పరిశీలనాత్మక బావుల ద్వారా నీటిమట్టములను తీయుచూ వాడుకొను విధానమును నియంత్రించవలయును. అధునాతనముగా మనము పీజో మీటర్స్ పెట్టి హైడ్రోగ్రాఫ్ ఎనాలిసిస్ చేసి సమర్థవంతముగా నీటి వినియోగమును చేపట్టవచ్చును. కమాండ్ ఏరియాలో కంజెక్టివ్ యూజ్ అనుసరించి వాడుకొనుట మంచిది. దీని యందు భూగర్భజలమును - భూతల జలము సమన్వయపరచిన ఉపయోగము కలుగును. ఇట్లు జరిగిన భూగర్భజలాభివృద్ధి నిరంతరము వృద్ధి పొందుచూ ఎక్కువ ఏరియాను భూతల జలముతో నీటి యాజమాన్యమును పెంపొందింప చేయవచ్చును. అట్లు చేసిన కమాండ్ ఏరియాలో లాగింగ్ ఎఫెక్ట్ తగ్గించిన అక్కడి భూములు ఉప్పు కయ్యలుగా మారకుండా కాపాడబడును. ప్రభుత్వము వారు ఎక్కువగా ఈ పథకాన్ని ప్రోత్సహించి టైలాండ్ ఏరియాలో కూడా నీరు అందించుటకు యోచించుచున్నారు.



6. భూగర్భజలము భూతల రూపాంతరముల ప్రాధాన్యత

భూగర్భజలము నిలువరించుటలో భూతలమార్పుల ప్రాధాన్యత ఎక్కువగా కలదు.

1. డ్రైనేజ్ ఫ్యాటర్స్ :

(ఎ) డెండ్రటిక్ డ్రైనేజ్ : Irregular Branching of Flow lines తో ఈ డ్రైనేజీ నిర్ణతమైన నిరోధక శక్తి కలిగిన కఠిన లేక సెడిమెంటరీ శిలాఫలకముల ఏరియాలలో కలదు.

(బి) బార్బిడ్ డ్రైనేజ్ : ఈ డ్రైనేజీ నందు వాగులు, నల్లాలు, ఒకదానిపై ఒకటి ఆధిక్యత కలిగియుండును. బలహీనమైనది, ఎక్కువ సామర్థ్యం గల వాటిలో కలిసిపోవుట జరుగును. (Stream Piracy).

(సి) యాంగ్లర్ డ్రైనేజ్ : ఆక్రమిత శిలాఫలకములపై పగుళ్ళు, నెర్రెలు వున్న యెడల ఇట్టి డ్రైనేజ్ జరుగును.

(డి) డిరేంజ్డ్ డ్రైనేజ్ : ఇది కాంప్లెక్స్ డ్రైనేజ్. చిందరవందరగా వాగులు, వంకలు, చెరువులలోకి పోవుచూ బయటకు వచ్చును. ఇక్కడ భూగర్భజల నాణ్యత లోపించును.

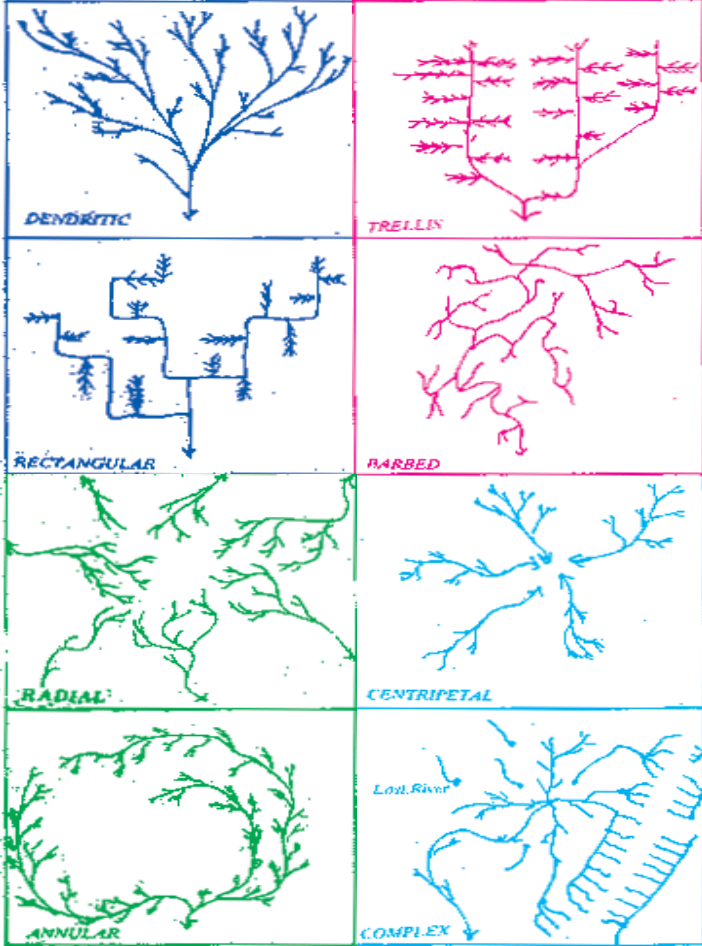
(ఇ) సెంట్రీపెటల్ ప్యాటరన్స్ : ఇట్టి డ్రైనేజీలు సున్నపురాయి ఏరియాలలో జరిగి సింక్ హోల్స్ లోపలికి పోవుచుండును.

(ఎఫ్) రేడియల్ ప్యాట్రన్ : ఇది ఉబ్బెత్తుగా వున్నచోట జరుగుచుండును. డోమ్ డు ఏరియాస్.

(జి) ప్యూర్లల్ ప్యాట్రన్స్ : నిర్ణతమైన రీతిలో ప్రవహించు వాగులు, వంకలు ఏరియాలలో ఇట్టి ప్రక్రియ జరుగును.

(హెచ్) యాన్యులర్ ప్యాట్రన్స్ : ఇవి కఠిన మృదుశిలా సముదాయముల
యందు సమాంతర రింగ్స్ ఆకృతిలో జరుగుచుండును.

వివిధ రకముల డ్రైనేజి ప్యాట్రన్స్ ఈ క్రింది పఠములో చూపబడినవి.



Different Drainage Patterns

2. ఒండ్రు నేలలు (Alluvium) :

ఇది నదీపరివాహక ప్రదేశముల నందు నదీ డిపాజిట్ చేయునది. దీని యందు ఇసుక, గ్రావెల్, బంకమట్టి కలిసివుండవచ్చును. ఇది కోనికల్ గా గానీ, ఫ్యాన్ టైప్ గానీ డిపాజిట్ చేయవచ్చును. కోనికల్ గా డిపాజిట్ చేసినప్పుడు దాని నుండి వచ్చు గట్టిపడిన శిలాఫలకాలను కంగ్లమరేట్స్ అని అందురు. ఫ్యాన్ టైప్ నుండి గట్టిపడి వచ్చిన వాటిని ఫాంగ్లామ్ రేట్స్ అని అందురు. నదీ పరివాహక ప్రదేశముల నందు భూగర్భజలములు అల్లాయం సిడిమెంట్స్ లో ఎక్కువగా నిక్షిప్తము కాబడును. దీనిలో గొట్టపు బావులు నిర్మించుటకు అవకాశము కలదు.

3. పెనీప్లేనేషన్ :

ఉపరితలము తక్కువ ఎత్తు కలిగియుండి ఆక్రమిత శిలాఫలకములు ఇట్టి నేలల యందు లోపలికి నెట్టబడి వుండును. ఇట్టి పరిస్థితులు గల ఉపరితలము ఏర్పడిన విధానాన్ని పెనీప్లేనేషన్ అందురు. పెడిమెంట్స్ కలిసియున్న విధానమునే పెనీప్లేనేషన్ లో కలదు. పెడిమెంట్స్ అనగా రాళ్ళతదో కూడుకొని కొండల వాలుతలము నుండి లోయల వరకు వ్యాపించి యున్నట్టి ఏరియాలు.



4. (Karst Topography) కాస్ట్ టోపోగ్రఫీ : (లోయల ఉపరితలము) :

ఇది ఎక్కువగా సున్నపురాయి ఆక్రమిత ప్రదేశముల నందు జరుగుచుండును. భూమిలోపల భాగములో సున్నపురాయి కరిగి లోయగా ఏర్పడును. భూతల జలాన్ని భూగర్భములోనికి నెట్టబడును. దీనిని కాస్టిఫికేషన్ ప్రక్రియగా అభివర్ణించవచ్చును. ఇట్టి ప్రక్రియలో క్రింది వానిని పరిగణనలోనికి తీసుకొనవచ్చును. ఇట్లేర్పడిన లోయల ముఖద్వారములను గుహలుగా వ్యవహరింతురు. ఈ గుహల పై భాగమునుండి డిపాజిట్ చేయబడి, వ్రేలాడు నిర్మాణములను స్టేలక్టైట్సు అనియు, క్రింద డిపాజిట్ చేయబడి, శివలింగములుగా ఉన్నవాటిని వాటిని స్టేలగైట్స్ అనియు అందురు.

(ఎ) కరిగే ప్రక్రియలు గల ఆక్రమిత శిలాఫలకములు.

(బి) ఎక్కువ కరిగిన ముడి శిలాఫలకముల ఏరియాలలో తక్కువ కాస్టిఫికేషన్ జరుగును. కానీ నెర్రెలు, పగుళ్ళు గల సున్నపురాయి శిలాఫలకములలో కరుగు ప్రక్రియ ఎక్కువ నీటిని నిలువరించును. సింక్ హోల్స్, లోయలు, ఇట్టి ప్రక్రియలో ఆవిర్భవించును.

(సి) ఇది వర్షపాతము ఎక్కువగా వుండు ఏరియాలుగా వుండవచ్చును.

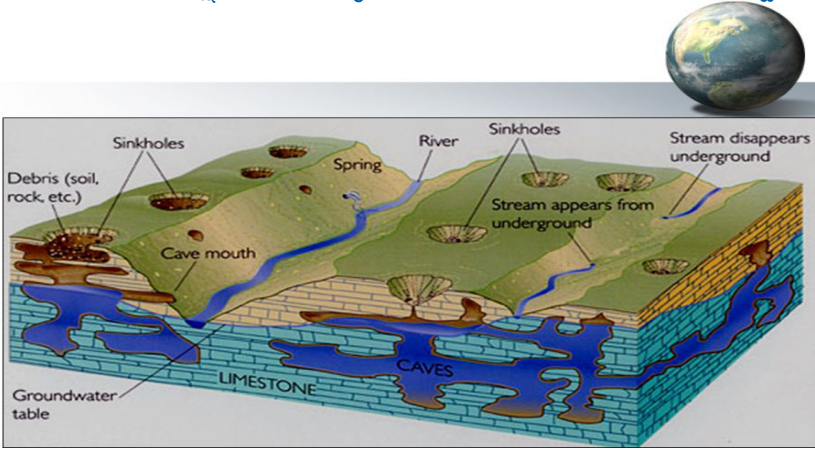


Diagram of Karst Features



7. భూగర్భజలాలు - కొండలు, నదులు ప్రాధాన్యత (Role of Regional Structures in Ground Water Accumulation)

భూగర్భజలాల ఆవిర్భావమునకు ఆ ప్రాంత వైసర్గిక స్వరూపము ప్రాధాన్యత సంతరించుచున్నవి. ఇవి కొండలు, నదులు, వాగులు, సముద్రము, లోయలు ఆక్రమిత సముదాయ శిలాఫలకములు మొదలగునవి.

(ఎ) కొండలు : ఇది ఎత్తైన ప్రదేశము నుండి వర్షపు నీటిని లోతట్టు ప్రాంతములకు ప్రవహించునట్లు చేయుచున్నది. మార్గమధ్యములో నీరు భూమిలో అనువైన చోట్ల ఇంకి, భూగర్భజలాశయములుగా ఏర్పడును. బోడుగా వున్న కొండలు చుట్టూ ఇటువంటి ప్రక్రియ జరుగక వర్షపునీరు ఎక్కువగా లోతట్టు ప్రాంతములకు పరుగులు తీయుట వలన అట్టి ప్రదేశములలో భూగర్భజలములు ఎక్కువగా ఏర్పడవు. ఉదా : వినుకొండ దాని చుట్టూ వున్న ప్రదేశములు. కానీ నాగటి చాళ్ళవలె వున్న కొండల చుట్టూ వున్న భూమి ప్లాటుగా వుండి నల్లా కటింగ్స్ కలిగియుండును. ఇలాంటి ప్రదేశముల నందు ఎక్కువగా భూగర్భజలము ఇంకి భూగర్భజలాశయములుగా మారును. ఉదా : కొండవీటి కొండలు. (ఎడ్లపాడు నుండి గుంటూరు జాతీయ రహదారికి పడమర వున్న ప్రదేశము)

(బి) నదులు : భూగర్భజలాలు ఏర్పడుటలో నదులు ముఖ్యపాత్ర వహించు చున్నవి. అవి ప్రవహించు ప్రాంతములలో లోయలుగా ఏర్పరచుకొని పై నుండి తెచ్చిన ఇసుక ఒండ్రుమట్టిని డిపాజిట్ చేయుచుండును. ఇట్టి డిపాజిట్ చేయబడిన ఇసుక తిన్నెలలో నదీ ఎక్కువ నీటిని నిక్షిప్తము చేసి, మంచి భూగర్భజలాశయములుగా ఏర్పరచుచున్నవి. వీటి పరిమాణము ఆ నది యొక్క ప్రవాహ ప్రదేశమును బట్టి వుండును. కొన్నిచోట్ల ఈ నదీపరివాహక ప్రదేశముల ప్రక్కన బొంతరాళ్ళు, ఇసుకరాళ్ళను కూడా ఆవిర్భవింపజేయు

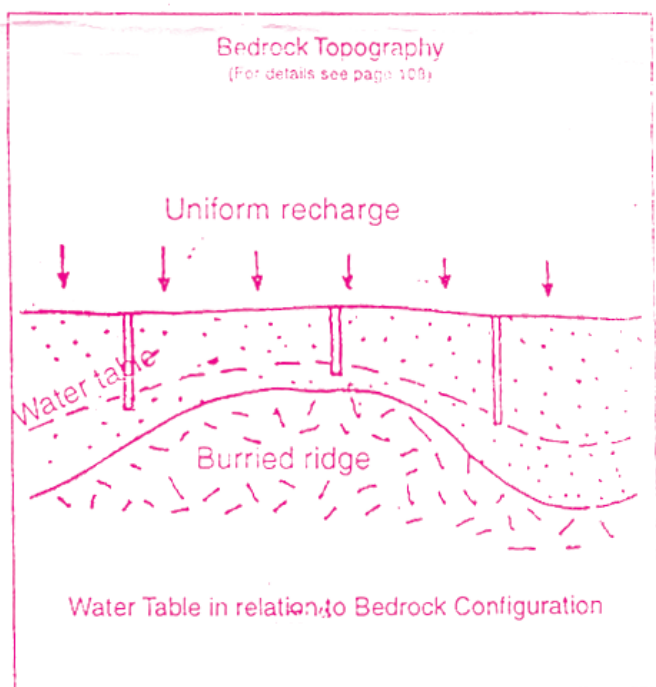
ప్రక్రియ కలదు. ఇట్టి ప్రదేశములలో కూడా భూగర్భజలమును అనువైన బావుల ద్వారా వెలికితీయవచ్చును. ఉదా : పెన్నానది, కృష్ణానది, గోదావరి పరివాహక ప్రదేశములు.

(సి) క్లేబేరియర్స్ : ఇవి అడ్డుకట్టలుగా నిలబడి అనుసంధానమైన శిలాఫలకములో వున్న భూగర్భజలములను నిలువరించుటలో ఎక్కువగా తోడ్పడుచున్నవి. ఉదా : పంగులూరు ఏరియా భూగర్భజలాభివృద్ధి - ప్రక్కనే చందలూరు వైపు గల క్లేబేరియర్స్.



(డి) అడుగున వున్న శిలాఫలకాల ఉపరితల ప్రక్రియ (Bedrock Topology)

ఎక్కువ శిలాఫలకాలు ఛిద్ర దశకు, శిథిలావస్థకు గురైనపుడు అవి వాటి వాలుతలముల, లోయల సమతల ప్రక్రియల కనుగుణంగా నియంత్రింపబడును. ఉపరితలముల స్వరూపముల నాధారంగా ఒండ్రునేలలు, గాలి వలన ఏర్పడిన ఇసుకతన్నెలు (Acolin Sands) తీరుతెన్నులను విశ్లేషించవచ్చును. వాగులు, వంకలు ప్రవహించునపుడు అవి రూపొందించే లోయల ప్రక్రియలను బట్టి ఎటువైపు బెడ్ రాక్ పటిష్టముగా వున్నది, ఎటువైపు ఎక్కువగా శిథిలావస్థకు గురైనది గుర్తించి, లోపల వాలుతలములను విశ్లేషించవచ్చును. ఇట్టి శిథిలశిలాఫలకాల ఉపరితల స్వరూపదశలు భూగర్భజల మట్టములపై ప్రభావము చూపును. ఈ ప్రక్రియను పటములో చూపబడినది.



8. వివిధ రకముల శిలాఫలకాలు - భూగర్భజల వనరులు

(Ground Water reserves in different rock types)

(ఎ) కఠిన శిలాఫలకాలు :

ఆక్రమిత కఠిన శిలాఫలకాలలో భూగర్భజలములు ఆ శిలల చిద్రూప దశను బట్టి మరియు పగుళ్ళు, నెర్రెలు యొక్క ప్రక్రియల మీద ఆధారపడియున్నది. కఠిన శిలలు బోడుగా వున్న (Massive) ఎట్టి భూగర్భజలములు ఆవిర్భవించవు. కానీ భౌతిక చిద్రూప దశకు చేరి, అనువైన వాలుతలము కలిగియున్నప్పుడు ఎక్కువ వర్షపు నీటిని నిలువరించి నిక్షిప్తం చేయును. ఇట్టి కఠిన శిలలయందు హారిజాంటల్ జాయింటింగ్ నుండి అడుగున పీట్ రాక్ వున్నప్పుడు నేలబావులు అనుకూలం. నిలువు పగుళ్ళు నెర్రెలు (Vertical Jointing with interconnected interstices) కలిగియున్నప్పుడు బోరింగు బావులు నిర్మించుటకు అనుకూలముగా వుండును. ఇదే కఠిన శిలలు రసాయనిక చిద్రూపము దశకు చేరి తెల్ల సుద్ద లాంటి పదార్థములుగా మారినప్పుడు వీటిలో ఎక్కువ నీరు నిక్షిప్తం కాదు. వచ్చిన నీరు కూడా వినియోగమునకు పనికిరాదు.

(బి) కడప గ్రూప్ ఆఫ్ రాక్స్ (షేల్స్, ఫిలైట్స్ మరియు స్లేట్స్) :

పై వర్ణించిన చిద్రూప ప్రక్రియ కడప గ్రూప్ ఆఫ్ రాళ్ళకు కూడా వర్తించును. వీనియందు ఎక్కువగా నిలువు పగుళ్ళు వుండి ఆ ఏరియా ఎక్కువగా బోరింగు బావులకు అనుకూలముగా వుండును. తక్కువ చోట్ల మాత్రమే నేలబావులకు ఆస్కారం కలదు.

(సి) సున్నపురాళ్ళు :

సున్నపు శిలా ఫలకాలు నీటిలో ఎక్కువ కరిగే స్వభావం కలదు. బోడుగా వున్నప్పుడు భూగర్భజలాలు వుండవు. ఇట్టి పరిస్థితి పిడుగురాళ్ళ ప్రాంతము నందు కలవు. కానీ ఒప్పిచర్ల, కారంపూడి, పేటసనిగండ్ల మొదలగు ఏరియాలలో రిబ్బిడ్ వెదరింగ్ లాంటి కాస్టిఫికేషన్ ప్రక్రియలు కలవు. అందువలన ఇక్కడ బోరింగు బావులు నిర్మించుటకు అనుకూలముగా వున్నవి. అంతేకాకుండా నాగార్జునసాగర్ ప్రధాన కాలువ ఈ ఏరియాల గుండా ప్రవహించి, ఎక్కువ కృత్రిమ భూగర్భ జలాభివృద్ధిని చేయుచున్నది. సున్నపురాయి ఎక్కువగా కాస్టిఫికేషన్ కు గురైన ప్రదేశము విశాఖలోని బుర్రా గుహలు, ఇక్కడ గుహలు, సింక్ హోల్స్, మొదలగు వంటివి పెద్దఎత్తులో జరిగినది. గుహలలో నుండి నీరు అంతర్వాహిని ద్వారా ప్రకృత వున్న గోస్తనీ నదిలోనికి బహిర్గతమగుచున్నది. సున్నపు శిలలు ఎక్కువగా కరుగుట వలన గోస్తనీ నది ఇక్కడ పెద్ద లోయగుండా ప్రవహిస్తున్నది. బుర్రా గుహలు ఒక అద్భుతమైన పర్యాటక ప్రదేశం. భూగర్భజల శాస్త్రవేత్తలు కూడా దీనిని దర్శించి క్షేత్ర పరిజ్ఞానం పెంపొందించుకో గల ప్రదేశం.

(డి) ఇసుకరాయి :

దీనిలోని రంధ్ర సముదాయము నీటిని నిలువరించి కదలు ప్రక్రియలు కలిగియుండును. అందువలన దీనిలో భూగర్భజలము ఎక్కువగా లభించుటకు ఆస్కారము గలదు. ఇసుకరాయి ఎక్కువ నిడివిని బట్టి గొట్టపు బావులను నిర్మించవచ్చును. గోదావరి బేసిన్ లోని రాజమండ్రి శాండ్ స్టోన్స్ లో వున్న భీమడోలు మొదలు ఏరియాలలో గొట్టపు బావులు 500 నుండి 1000 అడుగుల వరకు నిర్మించ బడుచున్నది. కానీ గుంటూరు జిల్లాలోని దీని నిడివి తక్కువగా వున్నది. తెనాలి ఏరియాలో గల అనుమర్లపూడి, సేకూరు గ్రామములో గొట్టపు బావులను 20 నుండి 30 మీటర్ల వరకు

నిర్మించబడివున్నవి. కానీ నారకోడూరు, వడ్లమూడి, చేబ్రోలు మొదలగు చోట్ల ఇసుక రాళ్ళు 8 నుండి 10 మీటర్లకే పరిమితమై గొట్టపు బావులకు అనుకూలముగా లేవు. అందువలన ఈ ఏరియాలలో ఈ శిలాఫలకములందు నేలబావులకే పరిమితమైనది.

(ఇ) ఇసుకమేటలు :

ఇసుకమేటలు నందు భూగర్భజలము ఎక్కువగా నిక్షిప్తము చేయబడి ఫిల్టర్ పాయింట్లు, గొట్టపు బావులను నిర్మించుటకు వీలు కలుగుచున్నది. నెల్లూరు జిల్లా, పెన్నానది పరీవాహక ప్రదేశములో 100 నుండి 250 వరకు, కృష్ణా, గుంటూరు జిల్లాల కృష్ణానది పరీవాహక ప్రదేశములో 50 నుండి 150 వరకు ఫిల్టర్ పాయింట్లు నిర్మించి ఎక్కువగా భూగర్భజలాన్ని జలాభివృద్ధి జరుగుచున్నది. అయితే ప్రకాశం జిల్లాలోని గుండ్లకమ్మ నది పరీవాహక ప్రదేశము నందు మంచినీరు గల ఇసుకతిన్నెలు లేవు. పాలేరు నది, నదీ ప్రవాహ ప్రదేశములో కూడా కొన్నిచోట్ల మాత్రమే తక్కువ లోతులో మంచినీరు లభ్యమగుచున్నది. మన్నేరు, ముసీ నదులు కూడా కొద్ది ఏరియాలకే భూగర్భజలము పరిమితమై వున్నది. సముద్ర తీరమందు గల ఉలవపాడు, కొత్తపట్నం, వేటపాలెం, చినగంజాం మొదలగు చోట్ల ఇసుకతిన్నెలలో తక్కువ లోతులో ఫిల్టర్లు పాయింట్లు వేసి స్పింక్లర్ ఇరిగేషన్ ద్వారా భూగర్భజలాభివృద్ధి జరుగుచున్నది.



9. భూగర్భజలకాలుష్యం (Pollution of Ground Water)

భూగర్భజల కాలుష్యం ఈ క్రింది ప్రక్రియల వలన జరుగును.

1. డ్రైనేజీలు, సెప్టిక్ ట్యాంకుల నిర్వహణ లోపాల వలన భూగర్భజల నాణ్యతకు విఘాతం కలుగును.
2. వ్యవసాయ యాజమాన్యంలో మనం వాడే ఫర్టిలైజర్స్ పెస్టిసైడ్స్ వల్ల కూడా భూగర్భజలం కలుషితం అగును.
3. కర్మాగారముల నుండి వెలువడు వ్యర్థపదార్థముల వలన కలుషిత భూగర్భజలం ఏర్పడును. ఆక్వాకల్చర్, బ్రీన్ కల్చర్, మొదలగు యంత్రాగారముల నుండి వచ్చు వ్యర్థపదార్థములను సెంకడరీ ట్రీట్ మెంట్ చేసి వదులుట శ్రేయస్కరము. దీని వలన బి.ఓ.డి. (Biological Oxygen Demand) ను నియంత్రించ వచ్చును.
4. సముద్ర ప్రాంతముల నందు భూగర్భజలము ఉప్పుగా కలుషితమగును.

భూగర్భజలం ఆవిర్భవించినప్పుడు ఈ క్రింది విధముగా నాణ్యత సంతరించుకొనుచుండును.

(ఎ) వర్షపునీరు భూమిలోని ఇంకునప్పుడు మట్టిపొరల నుండి అడుగున వున్న రాతి పొరల నుండి కరుగు రసాయనిక పదార్థములకు అనుగుణంగా వుండును.

(బి) ఈ కరుగు ప్రక్రియ ఆయా ప్రదేశముల ఆక్రమిత శిలాఫలకముల ఉనికిని బట్టి, చిద్రూప దశను బట్టి మారి తదనుగుణంగా భూగర్భజల నాణ్యత మారుతుంది.

(సి) భౌతిక చిద్రూపమునకు గురైన శిలాఫలకముల నుండి లభ్యమగు నీరు ఎక్కువ నాణ్యత కలిగియుండును. రసాయనిక చిద్రూపమునకు గురైన

శిలాఫలకముల నుండి తక్కువ స్వచ్ఛత నాణ్యత లోపభూయిష్టంగా వుండును.

(డి) ఫ్లోరిన్ లేని ఎత్తైన ప్రదేశముల నుండి ఎర్రటి గ్రావెల్ గల శిలాఫలకముల నుండి మంచినీరు లభ్యమగును.

(ఇ) ఆయకట్టు భూముల నందు లాగింగ్ ప్రక్రియల వలన భూగర్భజలం ఉప్పుగా కలుషితమగును.



10. భూగర్భజల నాణ్యత

భూగర్భజలం తగిన రీతిలో నాణ్యత కలిగి రంగు, రుచి, వాసన, ఉష్ణోగ్రత పరిసర ప్రాంతాలకు అనుకూలముగా వుండును.

(ఎ) రసాయనిక నాణ్యత : పి.హెచ్. 6.5 నుండి 8.5 గా వుండును.

(బి) ఎలక్ట్రికల్ కండక్టివిటీ : నీటియొక్క ఎలక్ట్రికల్ కండక్టివిటీని రికార్డు చేసి దాని నుండి మనం టోటల్ డిసాలిన్వ్ సాలిడ్స్ ను కనుగొనవచ్చును (ఇ.సి $\times 0.64$ = టి.డి.యస్) త్రాగునీటి యందు వీటి పరిమాణములు ఈ క్రింది విధముగా వుండవలయును.

< 300 mg/l - ఉత్తమమైనది

300 - 600 mg/l - మంచిది

600 - 900 mg/l - ఫర్వాలేదు

> 900 - 1200 mg/l - మంచిది కాదు

(సి) అష్ట క్షార గుణములు తగిన రీతిలో ఉండవలయును. ఇది 6 - 8.5 ఉదజని రేంజ్ లో ఉండవలయును.

(డి) (1) కాల్షియం - 10-100 mg/l - మంచిది, (2) మెగ్నీషియం - 40-100 ppm, 150 ppm - ఫర్వాలేదు, (3) సోడియం - 1-50 ppm, (4) కార్బోనేట్ & బైకార్బోనేట్ - 100-800 ppm, (5) క్లోరైడ్స్ - upto 250 ppm, (6) ఫ్లోరైడ్స్ - upto 1.5 ppm, (7) నైట్రోజన్ - upto 45 ppm, (8) ఐరన్ - upto 0.5 ppm, (9) సల్ఫేట్స్ - upto 5 ppm.

భూగర్భజల నాణ్యతలు ఈ క్రింది విధముగా విశ్లేషింపబడినవి.

1. 1971లో ప్రపంచ ఆరోగ్య సంస్థ ఈ క్రింది విధముగా త్రాగునీటి నాణ్యత ప్రమాణాలను నిర్ధారించుట జరిగినది. దీని ప్రకారము ఈ క్రిందనీయబడిన వాటికన్నా సాంద్రత ఎక్కువ ఉండిన ఆరోగ్యమునకు భంగము కలుగును.

విశ్లేషించవలసినవి	అనుమతించిన సాంద్రతాపరిధి
ఫ్లోరైడ్	1.5 ppm
లెడ్	0.1 ppm
అర్సనిక్	0.2 ppm
క్రోమియమ్	0.05 ppm
సెనైడ్	0.01 ppm
నైట్రేట్	45 ppm
సెలినియం	0.01 ppm

నీటి నాణ్యతను అన్నివిధములూ వాడుకొనుటకు ఈ క్రింది ప్రమాణములను కలిగి ఉండవలెను. ఈ ప్రమాణములకు మించిన నీటి నాణ్యత ప్రశ్నార్థకము.

విశ్లేషించవలసినవి	ఉండవలసిన సాంద్రత ppm	అనుమతించిన సాంద్రత ppm
పిహెచ్	7.85	6.5 - 9.2
టి.డి.యస్	500	1500
కారిన్యత	< 100	500
కాల్షియమ్	75	200
మెగ్నీషియం	50	150
సల్ఫేట్స్	200	400

క్లోరైడ్స్	200	600
ఇనుము	0.3	1.5
మాంగనీసు	0.1	1.0
జింకు	5	15
నత్రజని	45	45
కాపర్	1	1.5

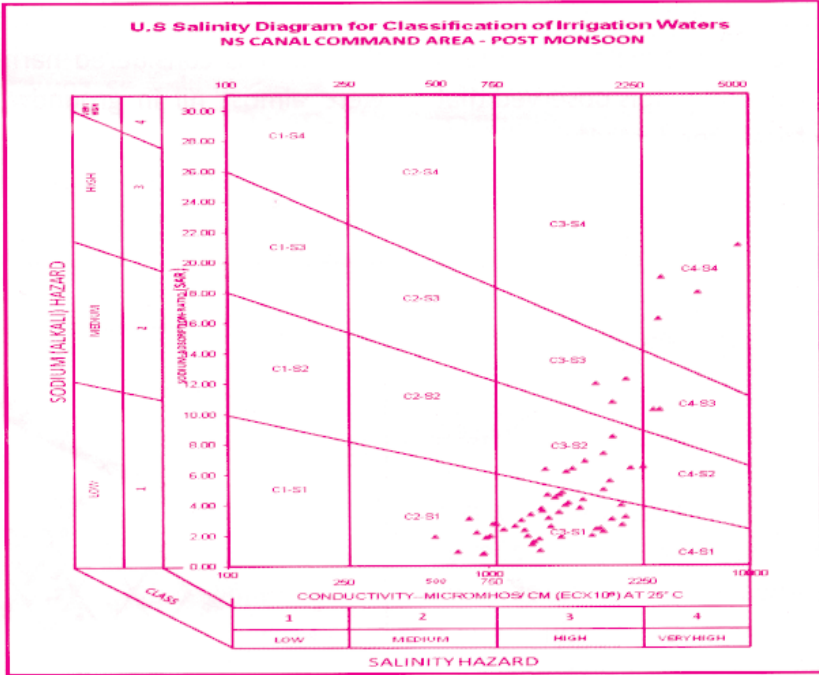
3. ఇరిగేషన్ ను ఈ క్రింది విధముగా విల్ కాక్స్ క్లాసిఫికేషన్ ఎక్కువగా పరిగణించుట జరుగుచున్నది.

నీటి నాణ్యత	సోడియం శాతం	ఎలక్ట్రికల్ కండక్టివిటీ మెక్రో మోస్ / సెం.మీ.	బోరాన్ పి.పి.యం.
ఉత్తమమైనది	< 20	< 250	0.67
మంచిది	20-40	250-750	0.67-1.33
ఫర్వాలేదు	40-60	750-2000	1.33-2.0
ప్రశ్నార్థకము	60-80	2000-3000	2-2.50
పనికిరాదు	> 80	> 3000	> 2.50

సోడియం సాంద్రత ఎక్కువగా వున్న అది మట్టి రేణువులతో రసాయనిక చర్య చెంది, దాని ఇంకు స్వభావమును తగ్గించును. సోడియం కార్బోనేట్ గల నేలలను క్షారజనితమైనవిగాను, సోడియం సల్ఫేట్, కార్బోనేట్ నేలలను ఉప్పుకయ్యలుగాను గుర్తించవలెను. ఈ రెండు రకముల నేలలు పైరుకు క్షేమము కాదు. బోరాన్ తగు శాతము పైరు ఎదుగుదలకు తోడ్పడినా, ఎక్కువ శాతం మాత్రం హానికరంగా గుర్తించవలెను.

మరియు ప్రపంచ ప్రామాణికమైనటువంటి క్లాసిఫికేషన్ యూయస్ సెలినిటీ క్లాసిఫికేషన్. దీనిప్రకారము కాల్షియం, మెగ్నీషియం పరమాణువుల

సాంద్రత ఎక్కువగా వున్న సోడియం యొక్క పరమాణు రసాయనిక చర్యను తగ్గించగలవు. అట్టి నీరు కొన్ని పైరులకు సమర్థవంతంగా వాడవచ్చును. ఈ క్లాసిఫికేషన్ లో పరమాణువుల సాంద్రత శాతమును పరిగణనలోనికి తీసుకొనవలెను.



11. భూగర్భజలం - క్షేత్ర పరిజ్ఞాన సూచనలు

1) ఆక్రమిత శిలాఫలకములు తక్కువ మోతాదులో చిద్రమైన దీనిలోని రంధ్రములు (Interstices) తగిన రీతిలో అభివృద్ధి చెందక తక్కువ నీటిని నిలువరించును. ఇది ఎగువ ప్రాంతములలో మిట్ట ప్రదేశములలో ఇట్టి ప్రక్రియ జరుగు చుండును.

2) ఎక్కువ చిద్రూపము రసాయనిక దశ వరకు ఆక్రమిత శిలాఫలకములు గురి అగునప్పుడు రాతిలోని ఖనిజములు రసాయనిక మార్పు చెంది మొదట ఏర్పడిన రంధ్ర సముదాయమును మూసివేయుట వలన ఎక్కువ నీరు నిక్షిప్తము కాదు. అందువలన ఇట్టి ప్రదేశములలో కూడా అతి తక్కువ నీరు లభ్యమగును. వచ్చిన నీరు కూడా నాణ్యత లోపించును.

3) కానీ ఆక్రమిత శిలాఫలకముల భౌతిక చిద్రూపమునకు గురైనప్పుడు (Optimum weathering) వానిలోని రంధ్రసముదాయములు తగిన రీతిలో రూపొంది, ఎక్కువ నాణ్యత గల నీటిని నిలువరించి లభ్యమగుట జరుగును. ఈ ప్రక్రియ అనువైన వాలుతలము కలిగి శిలాఫలకముల అనువైన భౌతిక చిద్రూప దశయందు మాత్రమే సాధ్యపడును.

4) మిట్ట ప్రదేశములలో ఎర్ర గ్రావెల్ కలిగిన నేలలందు మంచి నాణ్యత గల నీరు లభ్యమగును. కానీ లోతట్టు ప్రాంతమందు నల్ల రేగడి నేలలందు నీటి నాణ్యత లోపించును.

5) ఎత్తు పల్లములు ఎక్కువగా వున్న ఆక్రమిత కఠిన శిలాఫలకముల ప్రదేశములలో భూభౌతిక సర్వేలలో సరైన లోతుపాతులు (Depth Indication) సూచించలేవు.

6) భూభౌతిక సర్వేల స్థల ఎంపికలో అనుకూలముగా వున్ననూ కఠిన శిలాఫలకములలో కొన్నిచోట్ల మినరలైజేషన్ వలన నీటి నాణ్యత లోపించును.

ఇట్టి ప్రక్రియను నెల్లూరు జిల్లాలో కనుపూరు కెనాల్ సమీపములో డ్రిల్లింగ్ చేసి నిర్ధారించడమైనది.

7) ఉపరితలము నాగటిచాళ్ళను పోలిన కొండలు చుట్టూ వున్న ప్రదేశముల ఎక్కువ భూగర్భజలము లభ్యమగును.

ఉదా :- ఎడ్లపాడు - పొత్తూరు వరకు జాతీయ రహదారికి పడమర ప్రదేశములో ఎక్కువ భాగము. ఈ ప్రదేశములో కొండవీటి కొండలు ప్రక్కన కలవు. బోడుగా వుండు (Massive) కొండలు చుట్టూ గల ప్రదేశములలో భూగర్భజలము తక్కువగా వుండును. ఉదా : వినుకొండ కొండ చుట్టూ వున్న ప్రదేశము.

8) బంకమట్టి నేలలు అడ్డుకట్టలుగా అమరి ఎగువ ప్రాంతములో ఆక్రమిత శిలాఫలకములు భౌతిక చిద్రూపములు చెంది అనువైన వాలుతలములు కలిగినప్పుడు అట్టి ప్రదేశములలో ఎక్కువ భూగర్భజలము లభ్యమగును. ఉదా : పంగులూరు ఏరియా, ప్రకాశం జిల్లా.

9) సముద్రతీర ప్రాంతములలో నదులు కలియుచోట చుట్టూ వున్న ప్రదేశములలో (ఇసుక నేలలు) ఫిల్టర్ పాయింట్ల ద్వారా భూగర్భజలము అభివృద్ధి చేయవచ్చును. ఇక్కడ స్ప్రింగ్లర్ ఇరిగేషన్ చేపట్టబడుచున్నది. ఉదా :- ప్రకాశం జిల్లా - మోటుమాల - మడనూరుల మధ్య ప్రదేశము.

10) ఇసుకరాయి ప్రదేశములలో భూభౌతిక సర్వేల ద్వారా వాటి నిడివిని (Thickness of Sand Stone) సమర్థవంతముగా సూచించవచ్చును. ఈ ఆక్రమిత శిలాఫలకముల క్రింద మరలా బంకమట్టి వచ్చి భూభౌతిక సర్వేలకు ఒక ఇండికేషన్ గా పనిచేయును. ఇట్టి ఏరియాలందు గొట్టపు బావులను సమర్థవంతముగా నిర్మించవచ్చును. ఉదా : అనుమర్లపూడి - సేకూరి, గుంటూరు జిల్లా; భీమడోలు, గోదావరి జిల్లా.

11) భూతల నీటి జాడలు మరియు వాలుతలముల కలయిక కేంద్రములు భూగర్భజల స్థల ఎంపికకు అనుకూలమైనవి.

12) డ్రిల్లింగ్ జరుగునప్పుడు ఎక్కువ టైమ్ తీసుకొనుచూ పౌడర్ వచ్చిన

యెడల అక్కడ ఎక్కువగా కారిన్యత గల శిలాఫలకములు సూచించును. బద్దలు లాంటి చిప్స్ వచ్చిన యెడల రాతి పగుళ్ళుగా గుర్తించవచ్చును. పెద్ద పెద్ద ముక్కలుగా (Angular Block Cuttings) వచ్చిన యెడల అక్కడ జాయింట్సు (Crushed Zone) గా గుర్తించ వచ్చును. ఇట్టి ప్రదేశములలో ఎక్కువ నీరు లభ్యమగును.

13) నదీ పరీవాహక ప్రదేశముల నందు డ్రైనేజీ డివైడ్ లందు భూగర్భజలము తక్కువ. కానీ భూభౌతిక సర్వేలకు అనుకూలముగా వుండవచ్చును. అక్కడ ఆక్రమిత శిలాఫలకములు అనుకూలమైన చిద్రూపము దాల్చిననూ అంతర్వాహిని ద్వారా నీరు లోయ వైపు పోవుట వలన ఇట్టి పరిస్థితి ఏర్పడును (Dry fractures).

14) ఇసుకరాయి, బొంతరాయి గల కొన్ని ఏరియాలలో వాటి తక్కువ పరిమాణమును బట్టి (Thickness) నేలబావులకే పరిమితమగును. వాటి క్రింద బంకమట్టి వచ్చును. కావున బోరింగు బావులకు అనుకూలం కావు. ఉదా : చేబ్రోలు - నారకోడూరు, గుంటూరు జిల్లా - గునపాడు, నెల్లూరు జిల్లా.

15) కావెర్నస్ (Cavernous lime stone) సున్నపురాయి ప్రదేశములలో భూగర్భజలము ఎక్కువగా లభించును. ఇచ్చటి సున్నపురాయి ఎక్కువగా లోయలు, సింక్ హోల్స్, రిబ్బిడ్ వెడరింగ్ లుగా మార్పులు చెంది (Karstification) వలన ఇట్టి మార్పుల భూతల ప్రదేశము ఏర్పడును. ఉదా : బొర్రా గుహలు, విశాఖపట్నం. అయితే కొన్నిచోట్ల Massive lime stone లో భూగర్భజలము లేని ప్రదేశములు కలవు. ఉదా : పిడుగురాళ్ళ, గుంటూరు జిల్లా. Jointed Fractured lime stone ఏరియాలు అయిన కారంపూడి, దాచేపల్లి, పొందుగల, నడికుడి, వప్పిచెర్ల, పెటసనిగండ్ల, మొదలగు ఏరియాలలో బోరింగు బావులు సమర్థవంతముగా నిర్మించబడుచున్నవి. ఈ ఏరియాలలో నాగార్జునసాగర్ కమాండ్ ఏరియా కాలువల ప్రభావము కూడా ఎక్కువగా వున్నది.



12. భూగర్భజలాన్వేషణ విధానములు (Ground Water Surveys)

భూగర్భజలాన్వేషణలను ప్రధానముగా మూడు విధములు. (1) భూగర్భజల సర్వేలు, (2) భూభౌతిక సర్వేలు, (3) భూజల సర్వేలు.

భూగర్భజల సర్వేలు, భూభౌతిక సర్వేలు స్థల ఎంపికలో అత్యంత ప్రాధాన్యత సంతరించుచున్నది. భూగర్భజల సర్వేలలో మనము ప్రదేశము యొక్క నైసర్గిక స్వరూపమును శిలాఫలకాల చిద్ర దశను, వాలుతలము ఉనికిని, భూతల ఉపరితల రూపాంతరములను బట్టి పరిగణనలోనికి తీసుకొని స్థల ఎంపిక చేయవచ్చును. భూభౌతిక సర్వేలలో రెసిస్టివిటీ ప్రాతిపదికగా తీసుకొని స్థల ఎంపిక జరుగుచున్నది. లోపల శిలాఫలకాల చిద్రరూపమును నెర్రెలు, పగుళ్ళు మొదలగు వాని ఉనికిని ఈ రెసిస్టివిటీ రికార్డు వలన మనము ఎక్కువగా విశ్లేషించవచ్చును. వివిధ రకముల శిలాఫలకములలో సమర్థవంతముగా నిర్మించిన బోరింగు బావుల స్థల ఎంపిక ఆధారముగా అనువైన రెసిస్టివిటీలను ఈ క్రింది విధముగా పేర్కొనబడినవి.

(1) కడప గ్రూప్ ఆఫ్ రాక్స్ : (షేల్స్, ఫిలైట్స్ మరియు స్లీట్స్) 50-200 ఓమ్/మీటర్స్, (2) కఠిన శిలలు - 50-150 ఓమ్/మీటర్స్, (3) ఇసుక రాయి - 60-80 ఓమ్/మీటర్స్, (4) బంకమట్టి ఇసుక అల్ఫ్లావియం - 50-60 ఓమ్/మీటర్స్, (5) బంకమట్టి (సెలైన్ వాటర్) 2-10 ఓమ్/మీటర్స్, అధునాతనముగా శాటిలైట్ ద్వారా లభ్యమగు ఛాయాచిత్ర పటమును ఆధారముగా భూగర్భజలాశయాల ఉనికిని లీనామెంట్స్ను గుర్తించి సర్వేలు సమర్థవంతముగా చేపట్టుట జరుగుచున్నది. అన్ని సర్వేలకు ప్రాధాన్యత ఇచ్చి విశ్లేషించిన సత్ఫలితాలు పొందవచ్చును.

పరిశీలనాత్మక బావులను ఫీజోమీటర్స్ను అనువైన చోట్ల నిర్మించి నీటి మట్టములను తీసుకొని హైడ్రోగ్రాఫ్ ఎనాలిసిస్ ద్వారా భూగర్భజల వాడుకను సమర్థవంతముగా విశ్లేషించుట జరుగుచున్నది. (బడ్జెటింగ్ ఆఫ్ గ్రౌండ్ వాటర్). ఇది భూజల (Hydrological) సర్వేలకు సంబంధించిన అంశము.

13. కృత్రిమ భూగర్భ జలాభివృద్ధి (Artificial Recharge of Ground Water)

వర్షపాతము నుండి భూమిపై పడిన నీరు అనువైన చోట తగిన రంధ్ర సముదాయమును నెర్రెలు, పగుళ్ళు కలిగిన శిలాఫలకములోనికి ఇంకి భూగర్భ జలాశయములుగా మారును. ఇది ప్రకృతిసిద్ధముగా జరిగే భూగర్భ జలావిర్భావం (న్యాచురల్ రీచార్జ్). కానీ భూతల నీటి నిల్వలను నిలువరించి తగిన ఏరియాలలో భూమిలోనికి ఇంకునట్లు చేసిన అది భూగర్భజలమును ప్రభావితం చేయగలదు. ఇట్టి ప్రక్రియనే కృత్రిమ రీచార్జ్ అందురు. (Artificial Recharge)

1) బేసిన్ పద్ధతి :

ఈ పద్ధతిలో నీటిని త్రవ్విన బేసిన్ నిర్మాణములోనికి పంపిన యెడల కృత్రిమంగా ఆ ప్రదేశము నందు ఇంకి భూగర్భజలాభివృద్ధి జరుగును. వాగులు, నదులు, నీటిని ఎక్కువ ఏరియాలకు విస్తరింపచేసిన భూగర్భజలము వృద్ధి జరుగును.

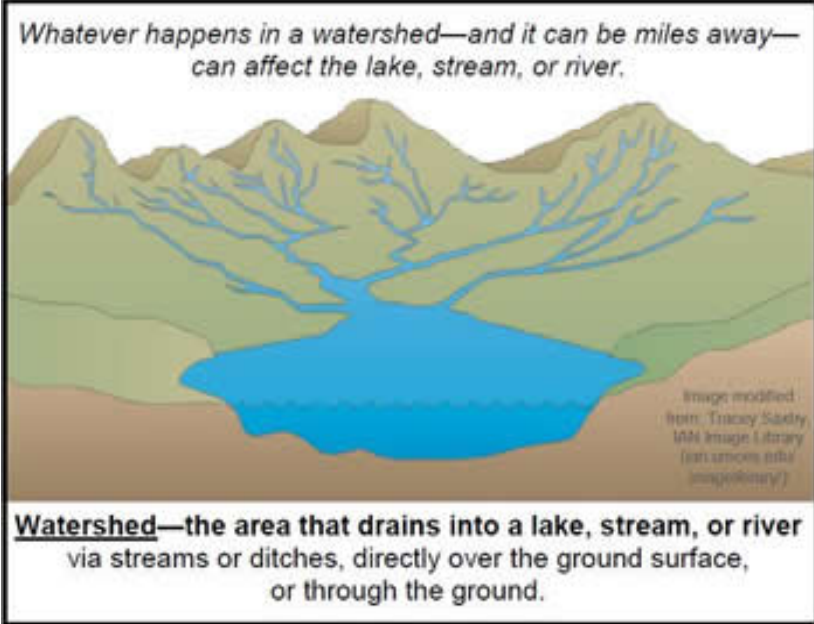
2) విస్తరింపచేయు పద్ధతి :

(ఎ) నీటి యాజమాన్య పద్ధతి : ఈ పద్ధతి యందు నీటి యాజమాన్యం ద్వారా విస్తరింపచేయును. గుంటలు, ఇంకుడు గుంటలు త్రవ్వించి, లోనికి వర్షపు నీటిని నిల్వ వుంచిన కృత్రిమ భూగర్భజలాభివృద్ధి జరుగును.

3) వాటర్ షెడ్స్ :

అధునాతనముగా ఏరియాలలో కృత్రిమ భూగర్భజలాలను వాటర్ షెడ్స్ ట్రీట్‌మెంట్ వలన జరుగుచున్నది. ఇది నీటిని నిలువరించు నిర్మాణములు. చెక్ డ్యాములు. పర్మలేషన్ ట్యాంక్, రాక్‌ఫుల్ డ్యామ్స్, ఫామ్ పాండ్స్ మొదలగునవి. అనువైన చోట్ల నిర్మించిన సత్ఫలితములు వచ్చును.

వాటర్‌షెడ్స్ సదస్సులలో పాల్గొని శాఖాపరమైన బాధ్యతలు నిర్వహించిన మక్తెన ఆంజనేయులుగారు కొన్ని ముఖ్యాంశములను సంక్షిప్తముగా ఈ క్రింది విధముగా వివరించినారు. నిర్ణీతమైన హద్దులు కలిగి అన్ని దిశల నుండి వర్షపు నీటిని కేంద్రీకృత మార్గము ద్వారా బహిర్గతం చేయు నదీపరీవాహక ప్రదేశములోని నైసర్గిక స్వరూపము గల ఏరియాను వాటర్ షెడ్ అందురు. అయితే ప్రధాన నదిని మాత్రము వాటర్ షెడ్ బ్రీట్‌మెంట్‌లో పరిగణించరాదు. ఈ వాటర్‌షెడ్స్ బ్రీట్‌మెంట్ చేపట్టుట వలన నీటి ప్రవాహమును (Splash run-off) కొండల వాలు తలమునకు అడ్డముగా గాడులు (trenching) చేసి అదుపు చేయవచ్చును. తద్వారా భూపరిరక్షణ జరుగును. ఫ్లాటు ఏరియాలలో వాలు తలమును బట్టి, ఇంకు స్వభావము (Infiltration and percolation) బట్టి అడ్డుకట్టలను, ఊటచెరువులను నిర్మించుకొనవచ్చును. (Check Dams & Percolation Tanks).



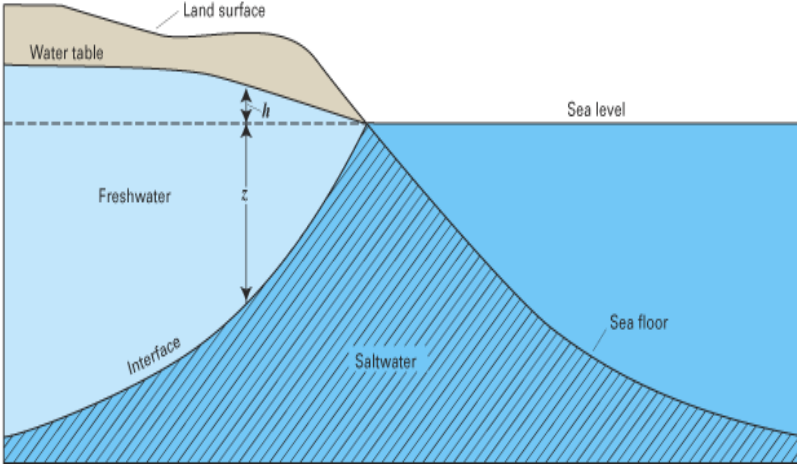


Check Dam

వీటివలన భూగర్భ జలము, మట్టిలోని తేమ శాతము (Soil moisture) పెంపొందించుకొన వచ్చును. అట్లు వీలుగానిచోట స్టోరేజీ ట్యాంకు నిర్మించి, నీటిని నిల్వకట్టి త్రాగు నీటికి, వ్యవసాయమునకు ఉపయోగించుకొనవచ్చును. ఏరియాలను బట్టి ఫారమ్ పాండ్స్ (Farm ponds) రాక్ ఫిల్ డ్యామ్స్ నిర్మించుకొని తగిన రీతిని లబ్ధి పొందవచ్చును. కొన్ని వ్యవసాయ పద్ధతుల ద్వారా, క్రాపింగ్ ప్యాటరన్స్ ద్వారా (Inter, Mono, Double Croppings) భూపరిరక్షణ గావించుకొనవచ్చును. ఈ ట్రీట్ మెంట్ ఏరియాను బట్టి రిడ్జ్ టు నల్లా (Ridge to Nallah) వరకు చేసిన యెడల రైతులు సమిష్టి లాభం పొందగలరు. అనుచితముగా ట్రీట్ మెంట్ జరిగిన లాభం కన్నా ఎక్కువ నష్టములకు గురికాగలరు. అందువలన వాటర్ షెడ్ ట్రీట్ మెంట్ లో ఈ క్రింది అంశములను పరిగణించవలెను. (1) P.R.A. (Prioritization of Rural appraisal), (2) Resource evaluation, (3) Co-operation and Co-ordination of all link departments, (4) Peoples participation, (5) Appropriate Structure in Appropriate Areas.



14. సముద్రపు నీరు ముందుకు చొచ్చుకొని వచ్చుట (Sea Water Intrusion)



$$Z = 40h$$

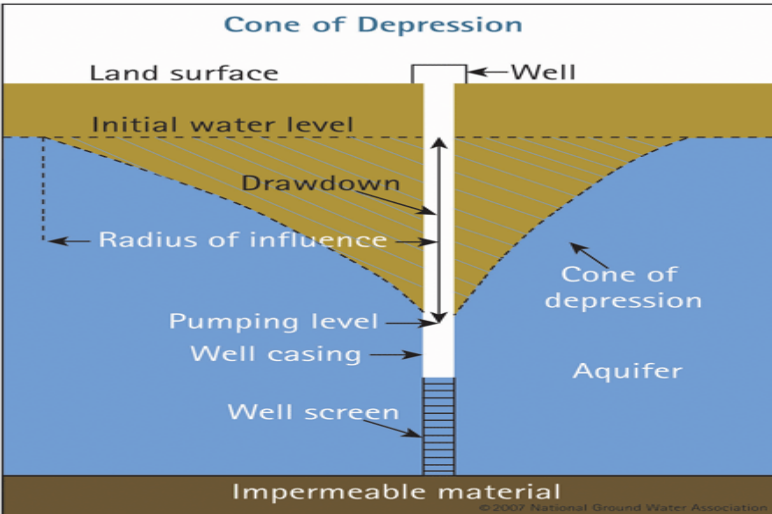
సముద్రతీరమందున్న భూగర్భ జలాశయములోనికి సముద్రపు నీరు చేరి భూగర్భజల నాణ్యత లోపభూయిష్టముగా చేయును. ఇది ఒక పద్ధతి ప్రకారము ముందుకు చొచ్చుకొని వచ్చును. ఈ ప్రక్రియను గూర్చి ఇద్దరు జర్మన్ శాస్త్రవేత్తలు గేబిన్ మరియు హెర్నబర్గ్ పరిశోధనలు జరిపి మంచి, ఉప్పు నీరుల సాంద్రతా భేదము ప్రాతిపదికగా ఒక ఇంటర్ఫేస్ కాన్సెప్ట్ను ప్రతిపాదించిరి. సముద్రపు నీటి సాంద్రత మంచినీటి కన్నా ఎక్కువ కావున మంచినీరు ఉప్పు నీటిపై తేలియాడుచుండును. అది 40 రెట్లు వాటర్ టేబుల్ మంచినీరు ఉప్పునీటిపై తేలియాడుచూ ఒక ఇంటర్ఫేస్ ప్రకారము ముందుకు చొచ్చుకొని వచ్చును. ఇట్టి ఏరియాలలో మనము మొదట పంపుచేసినపుడు

మంచినీరు వచ్చి, తదుపరి కలుఫితవై ఉప్పునీరు వచ్చుటను గమనించవచ్చును. అందువలన ఇట్టి ఏరియాలలో భాగర్థజలాన్ని వాడుకున్నప్పుడు ఒక టైమ్ షెడ్యూలు పాటించి వాడుకొనుట శ్రేయస్కరము. మంచినీరు వచ్చునంత వరకు వాడుకొని తదుపరి ఆపివేయవలయును. మరలా ఎంతసేపటికి మంచినీరు వచ్చునో గమనించి వాడుకొనవచ్చును. ఇట్టి ప్రక్రియ కొన్నిచోట్ల నెల్లూరు జిల్లా, దుగరాజుపట్నం సముద్రతీర ప్రాంత మందు కలదు. ఒకపూట మంచినీరు వస్తే, మూడు పూటల వరకు రావు. మూడు పూటల తరువాత వాటంతట అవే మరలా మంచినీరు వచ్చును.



15. బావుల స్థల ఎంపికలో మధ్య దూరము, లోతుపాతుల నియమ నిబంధనలు

బావుల మధ్యదూరమున నిర్ణీత దూరములో పాటించవలయును. మనము భూగర్భజలాలను బావుల నుండి పంపింగ్ చేయునప్పుడు నీటి మట్టము క్రిందకు ఒక క్వానికల్ ఫనల్ షేప్ లో లోపలకు దిగిపోవుచుండును. ఈ ప్రక్రియనే కోనాఫ్ డిప్రెషన్ అందురు. దీని వలన ప్రక్క ప్రదేశములో వున్న భూగర్భజలములు కూడా ప్రభావితం చేయబడును. అది మన బావి నుండి లభించు నీటి పీడన శక్తిని బట్టి మనము ఉపయోగించు మోటారును బట్టి, అక్కడ లభించు భూగర్భజల నిధులను బట్టి వుండును. అందువలన బావుల మధ్య తగిన దూరం పాటించిన ఈ కోనాఫ్ డిప్రెషన్ వలన చిక్కులు అంతగా వుండవు. కోనాఫ్ డిప్రెషన్ ప్రభావితం చేయలేదు. బావుల మధ్య దూరము ఈ కోనాఫ్ డిప్రెషన్ పరిధిలో వున్న యెడల ఒకదాని ప్రభావం మరియొక దానిపై వుండి నీటి లభ్యత తరగిపోవును.



బోరింగు బావుల కరిన శిలల్లో నిర్మించునప్పుడు ఎక్కువ లోతులు తీయరాదు. డైనమిక్ రిజర్వ్స్ ను వాడుకొను విధానమును అవలంబించ వలయును. అందువలన భూగర్భజల శాఖ వారు ప్రయోగాత్మక బావులను నిర్మించి పంపింగ్ టెస్ట్లను చేసి దీనిని నిర్మించి వీటి లోతుపాతులను నిర్ణయించిరి. అందువలన మనము అతిగా లోతుకు పోయి బోర్లును నిర్మించి అడుగున వున్న కొద్దిపాటి స్టాటిక్ రిజర్వ్స్ ను తీయకూడదు. అది భూగర్భజలాశయాలకు ముప్పుగా తయారగును. అట్లు చేసిన యెడల తదుపరి వర్షము పడినప్పుడు కూడా నీరు రాని పరిస్థితులు ఏర్పడును.

కావున భూగర్భజల శాఖవారు ప్రామాణికంగా నిర్ణయించిన లోతులను, బావుల మధ్య దూరమును పాటించి, శాస్త్రీయపరంగా బావుల నిర్మాణం జరిగిన మనకు లబ్ధి చేకూరును.



16. భూతల భూగర్భజలాల సమన్వయ వినియోగం (Conjunctive Use)

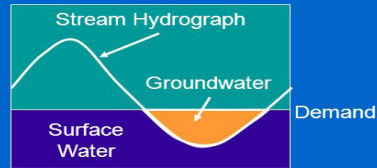
ఆయకట్టు భూములలో భూతల భూగర్భజలాల సమన్వయ వినియోగమును Conjunctive Use అందురు. ఈ విధానములో భూతల జలాలను ఎక్కువ ఏరియాలకు నీరు అందించుట జరుగును. అటులనే భూగర్భజలాల వాడుక వలన భూమిలో నీటిమట్టమును అదుపు చేయుచూ ఏరియాలను ముంపునకు గురికాకుండా చేయవచ్చును. భూతల జలము వలన భూగర్భజలము నిరంతరము వృద్ధి పొందుచుండును. ఇట్టి ప్రక్రియలను కలుగజేసిన యెడల ఆయకట్టు భూములు ఉప్పుకయ్యలుగా మారకుండా సురక్షితముగా వుండగలవు (Logging Conditions).

ఈ ప్రక్రియ కార్యరూపం దాల్చుటకు మూడు ప్రధానాంశములు ప్రస్తావించవలసి వున్నది.

1. సమృద్ధిగా గల భూతల జలవనరులు
2. భూగర్భజలాల ఉనికి
3. భూగర్భజలాశయములకు అనువైన ఆక్రమిత భూగర్భ శిలాఫలకాలు.

Conjunctive Use

- **Conjunctive Use -**
Integrated management of surface water and groundwater
- There are two basic scenarios:
 - Combined use of independent resources
 - Interconnected stream-aquifer systems
- Interconnected systems are more complex to manage



భూతల జలములు అందరికీ దృగ్గోచరమైనటువంటి వనరులు. కానీ భూగర్భజలము భూమిలోపల పొరలలో నిక్షిప్తమై నిగూడమైనటువంటి వనరులు. దీనిని పైకి తీసుకొనివచ్చుటకు ఎక్కువ శ్రమించవలసియున్నది. ఇది సరైన సర్వేల ద్వారానే అనువైన చోట్ల నిర్ధారించి అనువైన నిర్మాణాత్మక బావులను నిర్మించినప్పుడే సాధ్యపడును. దీనికి మూడవది అయిన ఆక్రమిత భూగర్భ శిలాఫలకాలు భూగర్భజలాలను ఒక ప్రక్క కాపాడుతూ, వేరొకప్రక్క వాటిని భూతల నీటిద్వారా వృద్ధి పొందుటకు ప్రక్రియ కలదిగా వుండవలయును. (Artificial Recharge).

పై తెలిపిన మూడు అంశములు ఆయకట్టు ఏరియాలందు ఎంపిక చేసి ప్రాజెక్టును చేపట్టిన సత్ఫలితాలు పొందవచ్చును.

దీనిని మనము పరిశీలనాత్మక బావుల వలన ఫీజోమీటర్స్‌ను సక్రమమైన పద్ధతిలో అనువైన చోట్ల నిర్మించుట చేసిన యెడల మనము ఆయకట్టు ఏరియాలలో నీటి యాజమాన్యాన్ని సమర్థవంతముగా నియంత్రించవచ్చు. అయితే ఇచ్చట బావుల నీటిమట్టాల పెరుగుదలను ఒక కృత్రిమ భూగర్భజల పెరుగుదలగా గ్రహించవలయును. కానీ ఇది బావుల ఫీజుబిలిటీకి అంత సమర్థనీయము కాదు. బావులలోని నీరు పెరిగితే ఎక్కువ ఏరియాకు నీళ్ళు అందించగలము. కానీ ఏరియాలో భూగర్భజలాశయములు లేనిచోట్లెల్లా ఏరియా వైశాల్యమును బట్టి ఎక్కువ బావులను నిర్మించలేము. ఇది ఆక్రమిత భూగర్భజల శిలాఫలకాల ఉనికిని బట్టి వాటి అనువైన ఛిద్రరూపమును బట్టి ఉండును.

ఈ అంశమును క్రియాశీలకముగా పరిగణనలోనికి తీసుకొని ఆయా ప్రాంతములోని ప్రభుత్వ భూగర్భజల విభాగక్షేత్ర పరిజ్ఞాన శాస్త్రవేత్తలు నిర్ణయములు తీసుకొనుట శ్రేయస్కరము. ఈ అంశాలను విజయవాడలో నేషనల్ సెమినార్ (ది. 11/12-02-2016) జరిగినప్పుడు ప్రస్తావించటమైనది.



17. అనువైన చిద్రూప శిలాఫలకాలు - భూగర్భజలాలకు నెలవులు (OPTIMUM WEATHERING)

నైనర్గిక స్వరూపమునకు అనుగుణముగా ఆక్రమిత భూగర్భ శిలాఫలకాలు నిరంతరము భౌతిక రసాయనిక చిద్రూపములను దాల్చును. భౌతిక చిద్రూపమును దాల్చిన ఆక్రమిత శిలాఫలకాలలో ఎక్కువగా భూగర్భ జలమును కలిగియుండును. రసాయనిక మార్పుల వలన కలిగిన చిద్రూపము గల శిలా ఫలకాలలో భూగర్భ జలము ఎక్కువగా నిక్షిప్తము కాదు.

చిద్రూప శిలాఫలకాల సముదాయము భూగర్భజలములకు అనుకూల నెలవు. అయితే విశిష్టమైన భూగర్భజలాల నిలువరించు ప్రక్రియ ఆయా ఆక్రమిత శిలా ఫలకాల ఉనికిని బట్టియు చిద్రూపమును బట్టి యుండును. ఎత్తు ప్రదేశములలో శిలాఫలకాలు తక్కువ మోతాదులో చిద్రూపమును దాల్చినప్పుడు రంధ్రములు సరియైన రీతిలో రూపొందక తక్కువ నీటిని నిలువరించును. అట్టి ప్రదేశములందు భూగర్భజలము తక్కువగా లభ్యము కాగలదు. కానీ అనువైన భౌతిక చిద్రూపము బల్లపరుపుగా వుండు ఏరియాలలో జరిగినప్పుడు రంధ్రములు సరైన రీతిలో రూపొంది ఎక్కువ నీటిని నిలువరించి, నిక్షిప్తము చేయును. కానీ ఎక్కువ మోతాదులో లోతట్లు ప్రాంతములనందు చిద్రూపము దాల్చిన భూగర్భ శిలాఫలకాలు రసాయన చర్య జరుగుటవలన ఎక్కువ నీరు లభ్యము కాకపోగా లభించిన నీరు కూడా నాణ్యత కలదిగా వుండదు. దీనికి కారణము రసాయనిక చిద్రూప శిలాఫలకములలోని ఖనిజములు రసాయన మార్పులు చెంది, ముందు ఏర్పడిన

రంధ్రాలను కూడా మూసివేయుట జరుగును.

కాబట్టి అనువైన భౌతిక చిద్రూపము వలన శిలాఫలకాలలోని రంధ్ర సముదాయము తగు విధముగా రూపొంది ఎక్కువ నీటిని నిలువరించి భూగర్భజలముగా నిక్షిప్తము చేయగలవు. ఇది భౌతిక చిద్రూపము వలననే ఆయా శిలాఫలకాల ఉనికిని బట్టి జరుగుచుండును. ఈ ప్రక్రియ కఠిన, రూపాంతర శిలాఫలకాలకు వర్తించును. సున్నపురాయి వున్నటువంటి ప్రదేశాలలో సున్నపురాయి కరుగుట వలన గుహలు, సింక్ హోల్స్ ఏర్పడి ఎక్కువ భూగర్భజలము రూపొందుట జరుగును. సున్నపురాయిలో జరుగు ఈ ప్రక్రియ ఒక రసాయనిక చిద్రూపముగా పరిగణించ వలయును.

ఈ అనువైన చిద్రూపదశలో మనము పరిశీలించి ఆక్రమిత శిలాఫలకాల వలన ఎక్కువ భూగర్భజల నిర్ధారణ చేయుచూ అనువైనచోట్ల తగిన సర్వేలు జరిపి బావుల నిర్మాణము చేయవలయును.



18. ప్రకాశం జిల్లా భూగర్భజలాల శయాల ఉనికి

ప్రకాశం జిల్లా భూగర్భజలాలలోని ఉనికిని ఈ క్రింది విధముగా వర్ణించవచ్చును.

1) కరినశిలలు :

జిల్లాలో ఎక్కువ భాగం కరిన శిలలతో ఆక్రమించబడినది. ఇది పొదిలి, దర్శి, కొనకనమిట్ల, కనిగిరి, ముండ్లమూరు, తాళ్ళూరు, అద్దంకి, కొరిశపాడు, మార్హూరు, సంతమాగులూరు, సంతనూతలపాడు, చీమకుర్తి, బల్లికురవ, దొనకొండ, సి.యస్.పురం, పామూరు మొదలగు మండలాలలో కలవు. ఈ శిలాఫలకములలో ఎక్కువగా తక్కువ భూగర్భజలం ఇచ్చు బోరింగు బావులను నిర్మించవచ్చును. ఇక్కడ బోరింగు బావులు 150 అడుగుల నుండి 250 అడుగుల వరకు నిర్మించవచ్చును. ఎక్కువగా 1000 జి.పి.హెచ్. నుండి 2000 జి.పి.హెచ్ వరకు వచ్చును. కొన్ని ప్రదేశములలో మాత్రమే 5000 నుండి 6000 జి.పి.హెచ్. అరుదుగా లభ్యమగు బోరింగు బావి నిర్మాణము కలదు. ద్రోణాదుల మొదలగు ఊళ్ళలో కరిన శిలలందు హరిజాంటల్ జాయింటింగ్ వున్నందువలన నేలబావులకు భూగర్భజలము పరిమితమై వున్నది. బజ్జేపల్లి, మార్హూరు, కోనంకి, మొదలగు ఏరియాలలో బోరింగు బావులు నిర్మాణం జరుగుచున్నది.

2) కడప గ్రూప్ ఆఫ్ రాక్స్ :

ఈ రకమైన రాళ్ళు ఎక్కువగా షేల్స్, ఫిలైట్స్, స్లేట్స్ గా వర్గీకరింపబడినవి. వీటిలో ఎక్కువగా నిలువు పగుళ్ళు వుండుట వలన ఏరియాలలో బోరింగు బావులకు ఆస్కారం కలదు. ఇది ఎక్కువగా మార్కాపురం డివిజన్ మొత్తం ఆక్రమింపబడినది. ఈ ఏరియాలలో 2000 జి.పి.హెచ్. నుండి 6000 జి.పి.హెచ్. వరకు బోరింగు బావుల నిర్మాణం 150 నుండి 300 అడుగుల వరకు నిర్మింపబడుచున్నది. అందువలన రైతులు బోరింగు బావుల మధ్య దూరమును కూడా ఎక్కువగా పాటించవలయును. ఇక్కడ వాటర్ షెడ్ పనులు భూగర్భజలాభివృద్ధికి సత్ఫలితములను ఇచ్చుచున్నది.

3) గోండ్వానా రాళ్ళు - భూగర్భజలాలు :

ప్రకాశం జిల్లాలో ఈ గోండ్వానా శిలలు చాలా తక్కువగా వున్నవి. ఇవి ఉన్నచోట ఎక్కువగా నేలబావులకు అనుకూలముగా వున్నవి. ఇవి గంగవరం, ఇంకొల్లు, గొల్లపాలెం, పావులూరు మొదలగు ఏరియాలలో గోండ్వానా గ్రావెల్ వచ్చిన చోట బోరింగు బావులతో భూగర్భజలాభివృద్ధి లేదు. వచ్చిన నీరు కూడా పనికిరానిదిగా వున్నది. గోండ్వానా

LEGEND		
AGE	FORMATION	HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS
RECENT	ALLUVIUM	Unconsolidated loose sand, gravel with clay. Forms potential aquifers. Shallow water table. Suitable for construction at dugwells filter points and shallow tubewells. Yield of dugwells range from 15,000 to 24,000 lpd. Yields of filterpoints / tubewells range from 40,000 to 50,000 lpd. Brackish water pockets found at places.
SUB RECENT TO RECENT	LATERITE	Deep water levels. Recuperation very poor. Suitable for dugwells. Moderate yield.
MIDDLE TRIASSIC TO LOWER CRETACEOUS	GONDWANS	Includes sandstones and shales. Feasible for dugwells, dug cum borewells and tubewells. Yield and quality poor to moderate.
PRE CAMBRIAN TO EARLY CAMBRIAN	CUDDAPAHS	Consists of quartzites, shales and limestones. Feasible for dugwells, dug cum borewells. Yield of borewells range between 8,000 to 50,000 lpd. Quality good.
CRYSTALLINES	DHARWARS KHONDALITES CHARNOCKITES GRANITES	Granites, granite gneisses charnockites and schists. Feasible for dugwells, borewells at selected places. Yield of borewells range between 4,000 to 27,000 lpd. Quality good.

5	6	7	8
---	---	---	---

శిలలు తక్కువ మోతాదులో ఉప్పుగుండుారు, పావులూరు, బూదవాడ, భీమవరం, రాచపూడి ఏరియాలలో 5 నుండి 10 మీటర్ల వరకు నేలబావులు నిర్మితమవుచున్నవి.

4) బొంతరాయి & ఇసుక రాయి ఒండ్రునేలలు :

ప్రకాశం జిల్లాలో నాలుగు చిన్న నదుల పరీవాహక ప్రదేశము గుండ్లకమ్మ, ముసి, పాలేరు, మన్నేరు నదుల ప్రక్కన కలదు. ఇసుక మేటలు ఇక్కడ తక్కువ మోతాదులో వున్నవి. బొంతరాయి, సింగరాయకొండ, టంగుటూరు, కందుకూరు, ఉలవపాడు మొదలగు ఏరియాలలో తక్కువ లోతులో వుండి ఛిద్రరూపము దాల్చి ఎక్కువగా ఉప్పునీరు లభ్యమగుచున్నది. గుండ్లకమ్మ నదీ పరీవాహక ప్రదేశములో ఒండ్రునేలలు, అద్దంకి, మద్దిపాడు ఒంగోలులో కలవు. అద్దంకి మండలంలో ధేనువకొండ వద్ద కొద్ది ఏరియాలలో మంచినీరు లభ్యమగు ఫిల్టర్ పాయింటు నిర్మింపబడి వున్నది. కానీ మద్దిపాడు, దేవరంపాడు ఏరియాలలో నీరు ఎక్కువగా ఉప్పుగా వుండి వాడుక యోగ్యత కోల్పోవుచున్నది. ఇక్కడ ఫిల్టర్ పాయింట్లు 15 మీటర్ల వరకు నిర్మించబడు చున్నది.

ముసీ నది పరీవాహక ప్రదేశము కొత్తపట్నం, పొందూరు, మడనూరు, నిడమానూరు ఏరియాలలో కలదు. ఇక్కడ ఇసుకమేటలు తిన్నెలలో ఫిల్టర్ పాయింట్స్ 15 నుండి 30 మీటర్ల వరకు నిర్మించబడుచున్నది. ఈ ఏరియాలలో ఎక్కువ మంచినీరు లభ్యమగుచున్నది.

పాలేరు నది పరీవాహక ప్రదేశము, శింగరాయకొండ, జరుగుమల్లి మండలాల్లో గల కామేపల్లి, నర్సింగోలు, తమ్మవారిపాలెం, జరుగుమల్లి, వావిలేటిపాడు ఏరియాలలో కలదు. ఇక్కడ ఇసుక మేటలు, ఫిల్టరు పాయింట్లు 10 నుండి 15 మీటర్లు వరకు నిర్మింపబడుచున్నవి. కె.బిట్రగుంట, నందనవనం ఏరియాలలో కూడా ఫిల్టర్ పాయింటు నిర్మించబడుచున్నది. వీటి నుండి 3000 జి.పి.హెచ్. నుండి 5000 జి.పి.హెచ్. వరకు నీరు లభ్యమగుచున్నది. అయితే కొన్ని జరుగుమల్లి ఏరియాలలో ఎక్కువ నీరు లభ్యమైనా కూడా నాణ్యత కోల్పోవుచున్నది.

మన్నేరు నది పరీవాహక ప్రదేశము. మాచవరం, మన్నేటికోట, పూరేటిపల్లి, మొదలగు గ్రామములలో కలదు. ఇక్కడ 10 నుండి 15 మీటర్ల వరకు ఫిల్టరు పాయింట్లు నిర్మించబడి 3000 నుండి 5000 జి.పి.హెచ్. నీరు లభ్యమగుచున్నది.

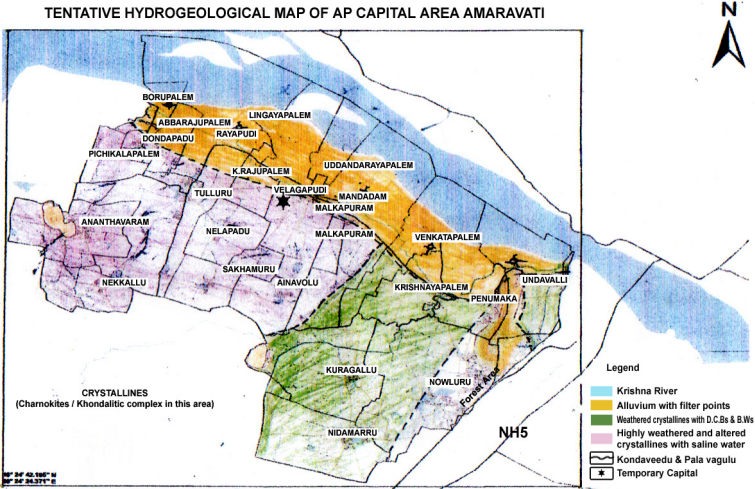
సముద్ర ప్రాంతమైన చీరాల, చినగంజాం, కొత్తపట్నం, ఈశముక్కల మొదలగు ఏరియాలనందు ఫిల్టర్ పాయింట్లు 8 నుండి 10 మీటర్ల వరకు నిర్మించి స్ప్రింక్లర్ నిర్మాణం జరుగుచుననది. వీటి నుండి 1000 నుండి 2000 జి.పి.హెచ్.

లభ్యమగుచున్నది.



19. కృష్ణానది పరీవాహక ప్రదేశము - భూగర్భజలాల ఉనికి

కృష్ణానది పరీవాహక ప్రదేశమైన రాజధాని ఏరియాలోని ఆక్రమిత శిలాఫలకాలు (ఛార్వకైట్ & ఖాండలైట్) ఎక్కువ చిద్రదశకు (రసాయనిక చిద్ర దశకు) గురి కాబడి, నీటిని నిక్షిప్తం చేయలేక ఉప్పుకయ్యలుగా మారినవి. కానీ కృష్ణానది దక్షిణ తీరప్రాంతానికి అంటిపెట్టుకొని వున్న మందడం, బోరుపాలెం మొదలగు గ్రామాలలో ఇసుక తిన్నెలు తక్కువగా మేటలు వేసి, ఫిల్టరు పాయింట్ల ద్వారా తక్కువ నీరు లభ్యమగుచున్నది. ఉద్గండరాయుని పాలెం, అబ్బరాజుపాలెం, వెంకటపాలెం, లింగాయపాలెం మొదలగు గ్రామాలలో మంచినీటి బుగ్గలు గల ఇసుక తిన్నెలను మేట వేసి, తక్కువ లోతులో ఎక్కువ మంచినీటిని ఫిల్టర్ పాయింట్స్ ద్వారా లభ్యత జరుగుచున్నది. ఇది రాజధాని ఏరియాలో 5 నుండి 10% మాత్రమేనని గమనించవలయును.



ఆక్రమిత శిలాఫలకాల రసాయనిక చిద్రూప దశ వలన తెల్లసుద్దగా మారి ఎక్కువ భూగర్భజలాన్ని నిలువరించలేక, వచ్చిన కొద్దిపాటి నీరు కూడా ఉప్పుగా కలుషితమై పనికిరానిదైనది. ఇట్టి ఏరియాలలో ఉండవల్లి, పెనుమాక, మొదలగు గ్రామాలలో బోరుబావులు ద్వారా తక్కువ భూగర్భ జలాలను (1000 జి.పి.హెచ్.) లభ్యత జరుగుచున్నది.

అటులనే ఈ నదీపరీవాహక ప్రదేశము నందు గల ఆక్రమిత శిలా ఫలకములు గల అమరావతి నుండి తాడికొండ, మంగళగిరి మొదలగు మండలాలలో నదీజలాల ప్రభావము వలన ఎక్కువ చిద్రదశకు గురై మంచినీరు లేని ఉప్పు కయ్యలుగా మారినవి.

కృష్ణానదీ పరీవాహక ప్రదేశమైన రేపల్లె తాలూకాలోని ఎక్కువ లంక ఏరియాలు (పోతర్లంక, తిప్పకట్ల మొదలగు ఏరియాలలో) సముద్రపు నీరు ముందుకు చొచ్చుకొని భూగర్భజలాలను ఉప్పుగా కలుషితము చేయుట గమనించవచ్చును. ఇక్కడ ఇసుక తిన్నెలు ఎక్కువగా ఉన్ననూ ఎక్కువ నీరు లభ్యమైనను నీటి నాణ్యత ప్రశ్నార్థకముగా మారినది. ఈ ఏరియాలలో ప్లాంట్లు ద్వారా నీటిని శుద్ధిపరచి త్రాగునీటికి ఎక్కువగా ఉపయోగించు కొనవచ్చును.

తెనాలి తాలూకాలోని పెదవడ్లపూడి, నందివెలుగు, అంగళకుదురు మొదలగు గ్రామాలలో కృష్ణానది మంచినీటి బుగ్గలు గల ఇసుకతిన్నెలను మేట వేయుట జరిగినది. ఈ ఏరియాలో తక్కువ లోతులో (50 నుండి 100 అడుగులు) ఎక్కువ మంచినీరు లభ్యమగు ఫిల్టర్ పాయింట్లను సమర్థవంతంగా నిర్మించుచున్నాము (5000 నుండి 10000 జి.పి.హెచ్.). ఈ ఏరియాలలో లభ్యమగు మంచినీటిని చుట్టుప్రక్కల ఉన్న గ్రామాలలో కూడా సరఫరా చేయవచ్చును. యన్.టి.ఆర్.సుజల స్రవంతి పథకములకు ఇట్టి ఏరియాలు ఎంతగానో ప్రాధాన్యత సంతరించుకున్నవి.

నదీ పరీవాహక ప్రదేశము ఎగువ ప్రాంతమైన దాచేపల్లి మండలంలోని నడికుడి, పొందుగల, మొదలగు ఏరియాలలో ఎత్తు ప్రదేశములుగా వుండి వాటి ఆక్రమిత శిలాఫలకములు భౌతిక చిద్రూప దశకు గురికావడం వలన

ఈ ఏరియాలలో కొన్నిచోట్ల ఎక్కువ నీరు బోరుబావుల ద్వారా లభించుచున్నది. కానీ సత్తైనపల్లి తాలూకా మాదిపాడు ఏరియాలలో భూగర్భజలము అతి లోతుగా ఉన్న నేలబావుల నుండి లభ్యమగుచున్నది. ఈ బావుల అడుగున బొల్డర్ బెడ్ ను కూడా గమనించగలము (20 మీటర్స్ డెప్త్).

రాజధాని ఏరియాలో శిలాఫలకములు, భూగర్భజలాల ఉనికిని పటములో చూపబడినవి.

5 నుండి 10% రాజధానిలోని ఏరియా మాత్రమే మంచినీరు కలిగి ఎక్కువగా లభ్యమగు ఫిల్టర్ పాయింట్లకు ఆస్కారము గలదు. మిగతా ఏరియా మొత్తంలో నాణ్యత కల్గిన నీరుగాని, ఎక్కువ భూగర్భజలాలు గాని లేని ప్రదేశాలు. అందువలన ఉప్పునీరు ఎక్కువగా వచ్చు ఏరియాలలో ఆర్-ఓ ఫ్లాంట్లను పెట్టి భూగర్భజలాన్ని శుద్ధిచేసి (Desalinization) మంచినీటిని అందించవచ్చును. మిగతా ఏరియాలకు మంచినీటిని ప్రక్కనే వున్న కృష్ణానది పరీవాహక ప్రదేశాలలోని ఎక్కువ ఇసుకమేటలు కలిగి, ఒండ్రు నేలలలో వున్న ఫిల్టర్ పాయింట్ల నుండి గాని, కృష్ణా నది నుండి గాని మంచినీటి వినియోగ ప్రక్రియను చేపట్టవచ్చును.

భూగర్భజలశాఖ గుంటూరు వారు రాజధాని ఏరియాలో సేకరించి విశ్లేషించిన నీటి నమూనాల సమాచారము క్రింది పట్టికలో చూపబడినది.

దీని ప్రకారము రాజధానిలోని భూగర్భజలము నాణ్యత కలది కాదు. రచయిత గారు ఈ నేపథ్యంలో యూ.యస్. సెలినిటీ విశ్లేషణలు గూడా పరిశీలించి సోడియం, కాల్షియం, మెగ్నీషియం, ఐయనిక్ సాంద్రతలను విశ్లేషించి, సెలినిటీ మరియు సోడియం హెజార్డ్స్ ద్వారా విశ్లేషించిన నీటి నాణ్యతలో సరైన అవగాహన కలుగగలదు.



WATER QUALITY LEVEL II LAB, GROUNDWATER DEPARTMENT, DOWLAISWARAM, RAJAHMUNDRY.																
Analytical Report Of Water Samples Received From The Deputy Director, Ground Water Department, Guntur, collected in the Villages of Proposed core Capital, Andhra Pradesh during post monsoon November-2015.																
Sl. No	Lab No	Mandal	Village	DTW (bgl) in mts	pH	Sp. Cond. at 25°C in Micro siemens	T.D.S. Sp. Cond x 0.64	CO ₃ as Ca CO ₃	HCO ₃ as Ca CO ₃	Cl	SO ₄	Na	K	Ca	Mg	T.H. expressed as Ca co ₃
								ppm	ppm							
1	10341	Thulluru	Nekakilu	5.40	7.21	2140	1370	0	140	420	155	107	187	144	58	600
2	10342	Thulluru	Anantavaram	11.43	7.46	2495	1597	0	220	420	185	209	41	176	88	800
3	10343	Thulluru	Vaddamanu	5.1	7.32	2703	1730	0	260	400	270	239	229	128	63	580
4	10344	Thulluru	Dondapadu	2.37	7.58	1950	1248	0	380	180	98	206	200	40	53	320
5	10345	Thulluru	Borupalem	7.28	7.23	1750	1120	0	230	220	149	83	14	160	78	720
6	10346	Thulluru	Abburajupalem	5.18	7.21	2345	1501	0	230	480	200	245	4	112	78	600
7	10347	Thulluru	Thulluru	0.91	7.57	2655	1699	0	350	300	400	303	308	72	39	340
8	10348	Thulluru	Rayapudi	2.10	7.51	1007	644	0	180	120	58	68	16	80	34	340
9	10349	Thulluru	Lingayapalem	1.56	7.23	1620	1037	0	250	200	156	58	8	136	83	680
10	10350	Thulluru	Modugulankapalem	2.15	7.33	850	544	0	180	100	14	54	6	72	34	320
11	10351	Thulluru	Uddarayunipalem	3.17	7.4	1640	1050	0	250	180	169	99	6	152	63	640
12	10352	Thulluru	Velagapudi	1.00	7.5	2300	1472	0	360	300	265	278	3	88	78	540
13	10353	Thulluru	Malikapuram	1.67	7.19	2718	1740	0	310	400	495	297	16	152	88	740
14	10354	Thulluru	Tallayapalem	4.35	7.51	1167	747	0	180	120	120	29	9	88	63	480
15	10355	Thulluru	Anavolu	4.14	7.65	640	410	0	120	60	68	40	4	56	19	220

Sl. No	Lab No	Mandal	Village	DTW (bgl) in mts	pH	Sp. Cond. at 25°C in Micro-siemens	T.D.S. Sp. Cond x 0.64	CO ₃ as Ca CO ₃	HCO ₃ as Ca CO ₃	Cl	SO ₄	Na	K	Ca	Mg	T.H. expressed as Ca co ₃
HIGHLY SALINE																
16	10356	Thulluru	Venkatayapalem Cross	3.50	7.37	11590	7418	0	210	150	62	288	3	24	15	120
17	10357	Thulluru	Venkatayapalem	3.32	7.94	1446	925	0	190	140	123	93	7	96	53	580
18	10358	Thulluru	Tallayapalem Siva Shaktaram	2.10	7.55	1326	849	0	300	170	87	277	2	32	24.31	180
19	10359	Thulluru	Krishnayapalem	3.10	7.58	1520	973	0	150	1280	525	190	8	424	253	2100
20	10360	Tadepalli	Penumaka	2.93	6.85	5084	3254	0	370	320	280	285	103	72	58.34	420
21	10361	Mangalagiri	Yerrabalem	0.84	7.49	2255	1443	0	230	300	97	102	12	120	111.8	760
22	10362	Tadepalli	Dolasnagar	4.68	7.06	1961	1255	0	170	120	75	61	20	88	39	380
23	10363	Tadepalli	Nulakapet	0.82	7.08	1057	676	0	260	230	106	100	123	112	68	560
24	10364	Tadepalli	Undavalli	2.80	7.32	1804	1155	0	290	780	270	302	20	176	156	1080
25	10365	Mangalagiri	Navulur	4.08	7.05	3536	2263	0	290	540	315	187	164	128	185	1080
26	10366	Mangalagiri	Bethapudi	3.35	7.06	3248	2079	0	230	260	96	107	201	88	49	420
27	10367	Mangalagiri	Nidamaru	1.72	7.31	1760	1126	0	190	560	370	207	92	200	92	880
28	10368	Mangalagiri	Kuragallu	5.20	7.33	2808	1797	0	290	300	265	154	383	152	49	580
29	10369	Mangalagiri	Neenukonda	3.55	8.14	2722	1742	0								
30	10370	Thulluru	Sakhamuru	4.20	7.24	7287	4664									
HIGHLY SALINE																
31	10371	Thulluru	Neklapadu	3.14	7.45	4997	3198	0	200	950	920	507	31	280	180	1440

Note: The temperature at which pH determined is the temperature of the sample.
Samples received from : O/o The Deputy Director,GWD,Guntur District

Part II

20. Ground Water Conditions - Guntur District

The Umbrella - Shaped Guntur District is represented by varied type of soils followed by different types of rock formations namely crystallines, Cuddaphas and Kurnools, Gondwanas and alluvium. The District is having good irrigation facilities under Krishna Western Delta and also well organized N.S.Canal System in the district.

Hydro geologically the district may be divided into four segments namely ground water conditions in crystallines, in Cuddaphas and Kurnool, in Gondwanas and Alluvium Tracts.

1) G.W. in Crystallines :

The ground water occurs under water table to semi confined conditions in weathered zones of crystalline. Such zones occur in the Mandal Areas of Amaravathi, Guntur, Narasaraopeta, Bellamkonda, Sathenapalli, Krosuru, Achampeta, Ipur, Muppalla, Vinukonda, Shavalyapuram, Rompichela. In these areas the ground water is developed by dug and dug-come bore wells. In localized patches bore wells are feasible down to depth range of 50 to 60 mts at Nidimukkala, Mothadaka, Endroyi, Badeapuram, Hasanapuram, Rompicherla, Narasaraopeta etc., with discharge ranges of 2000 to 3000 gph.

2) (a) Cuddaphas :

The Cuddapahs formation occupy the Mandal areas of Bollapalli in which the dug-cum borewell and borewell are feasible down to depth range of 50 to 70 mts. With discharge ranges of 2000 to 5000 GPH at places of Mellavagu, Pamidipadu, Remidicherla, Gandiganumala, Ravulapalem etc.

(b) Kurnools :

Kurnools occupy mandal areas of Piduguralla, Macherla,

Karampudi, Veldhurthi, Durgi etc. in the areas of Dachepalli, Macherla, Karampudi, Peta senagandla, Pondugala, Oppicherla, Adigoppala, Ramapuram, Sripuram etc. Borewells and dug-cum borewells are feasible.

3) Gondwanas :

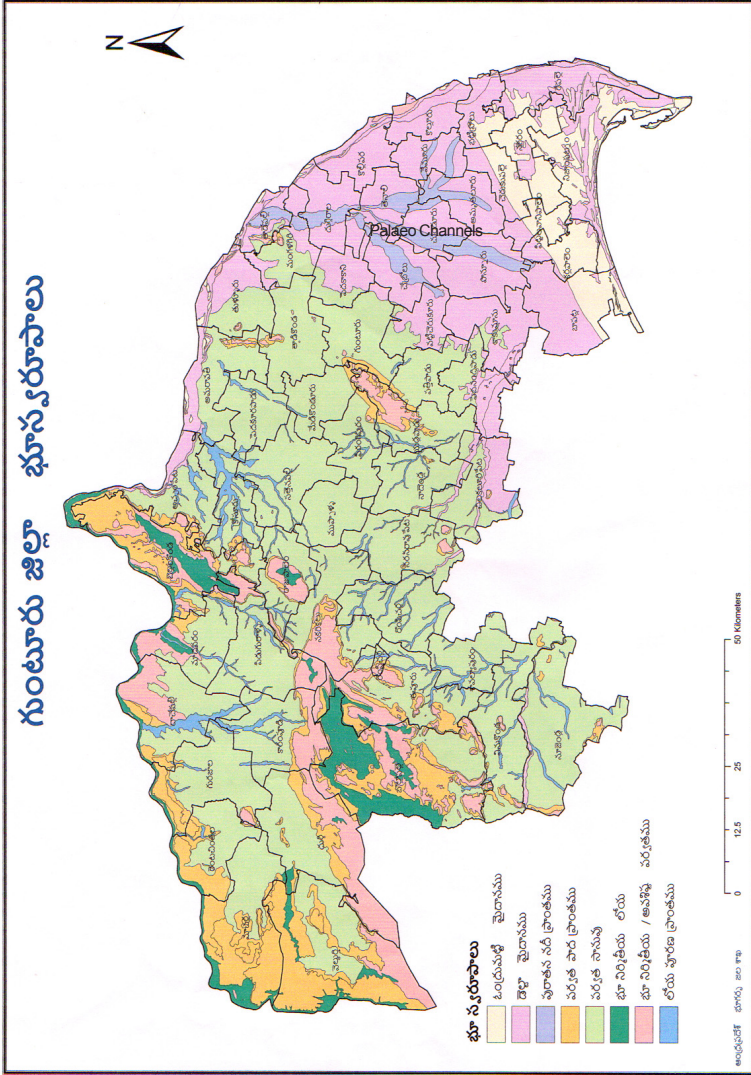
The Gondwana sand stones occur in the villages of Anamarlapudi and Sekuru of Tenali Taluk in these areas tube wells are feasible down to depth range of 20 to 30 mts with discharge ranges of 5000 to 8000 GPH. At Narakoduru, Chebrolu, Vadlamudi, Thickness of this formation is less i.e. only 5 to 10 mts and hence dug well only feasible down to this depth range. Because of the occurrence of clay beneath the sand stone, borewell are not feasible in these areas.

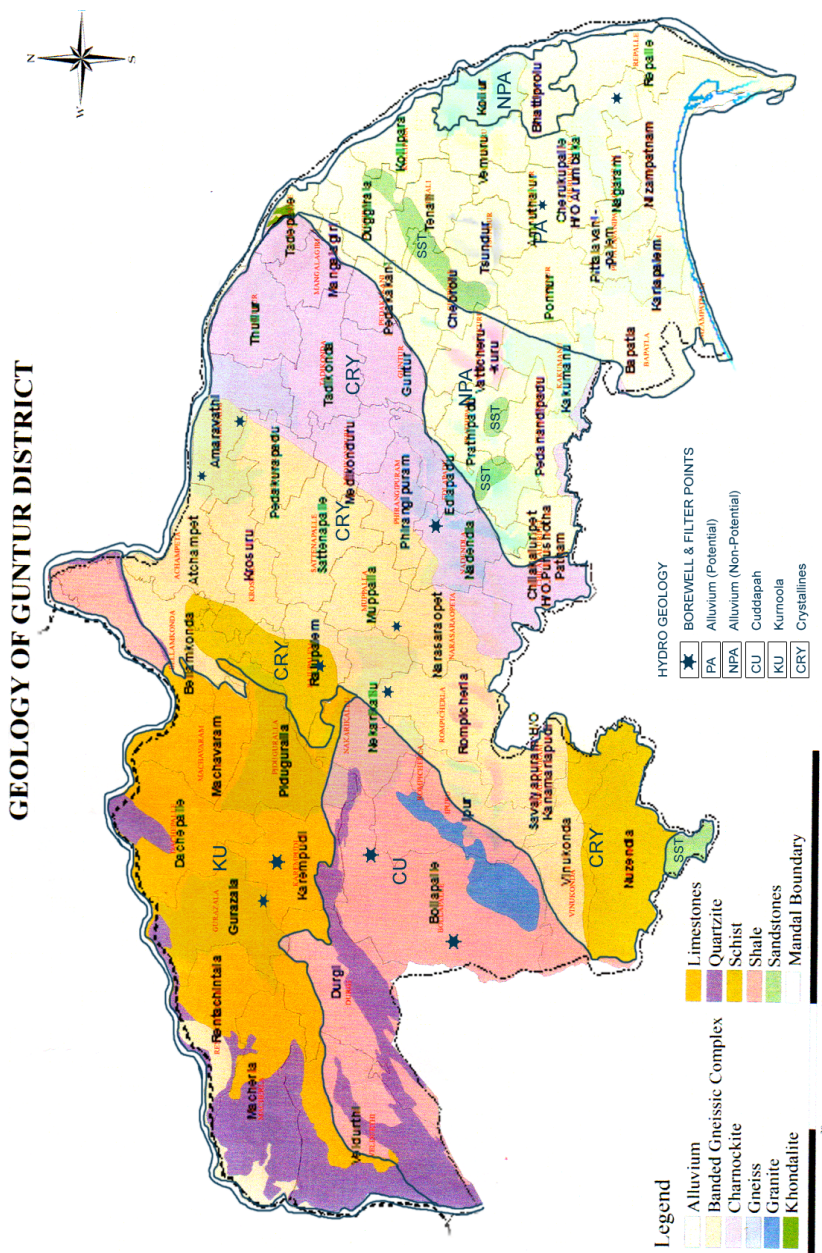
4) The river and coastal alluvium occupy the mandal areas of Tullur, Tadepalli, Tenali, Repalli etc. in these areas filter points are feasible down to depth range of 20 to 40 mts. with discharge of 5000 to 10000 GPH, but in Lanka areas of Repalle Taluk the ground water is highly saline and unfit for usage at Thippakatla and Potharlanka. The other areas in Guntur District are occupied by the clay patches which are unfit for ground water development.

Hydrogeological conditions are depicted in the tentative in the Map. And also burried channels of Krishna river are also shown in the Geomorphological Map.

59

గుంటూరు జిల్లా భూస్వరూపాలు





21. Ground Water Conditions - Nellore District

The Nellore District forms the south eastern part of the state and is occupied by the crystalline, laterites, alluvial tracts.

1) Crystalline Rocks :

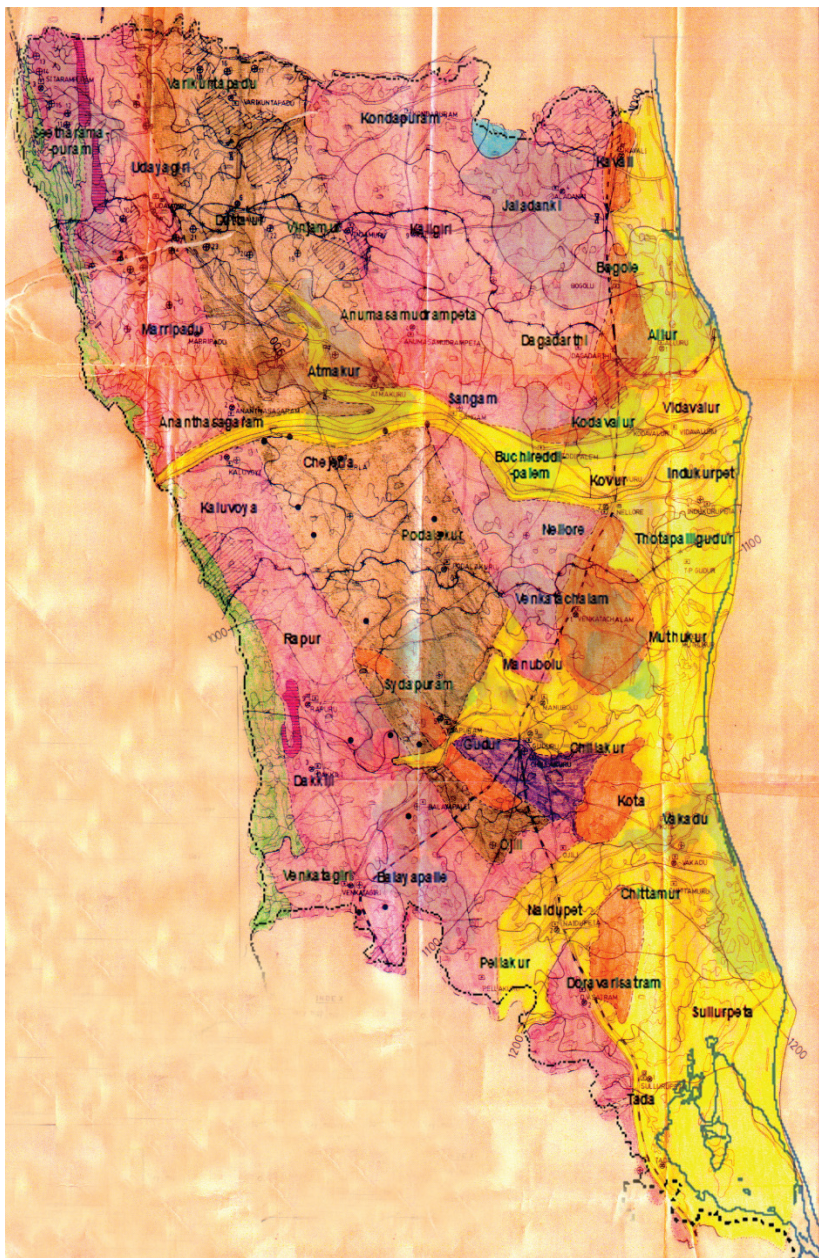
This formation in this district is schistose and gneissic rock complex with quartzitic intercalations. Mineralization is observed in certain patches. Mica, Gornetiferous schists are common in this district. This formation occupy the areas of Gudur, Sullurpeta, Udayagiri, Rapur, Atmakur, Venkatagiri Talukas, in this areas the ground water occurs under water table conditions and is developed by dug and dug-cum borewells in the localized patches only borewells are feasible down to depth range of 50 to 60 mts with discharge ranges of 2000 to 3000 GPH at places such as Uggumudi, Doravai Sathram of Sullurpeta Taluk, Kammapale, Vinjamur of Atmakur Taluk. The famous Nellore schist belt is yielding poor quality of ground water which is unfit for usage because of mineralization.

2) Laterites :

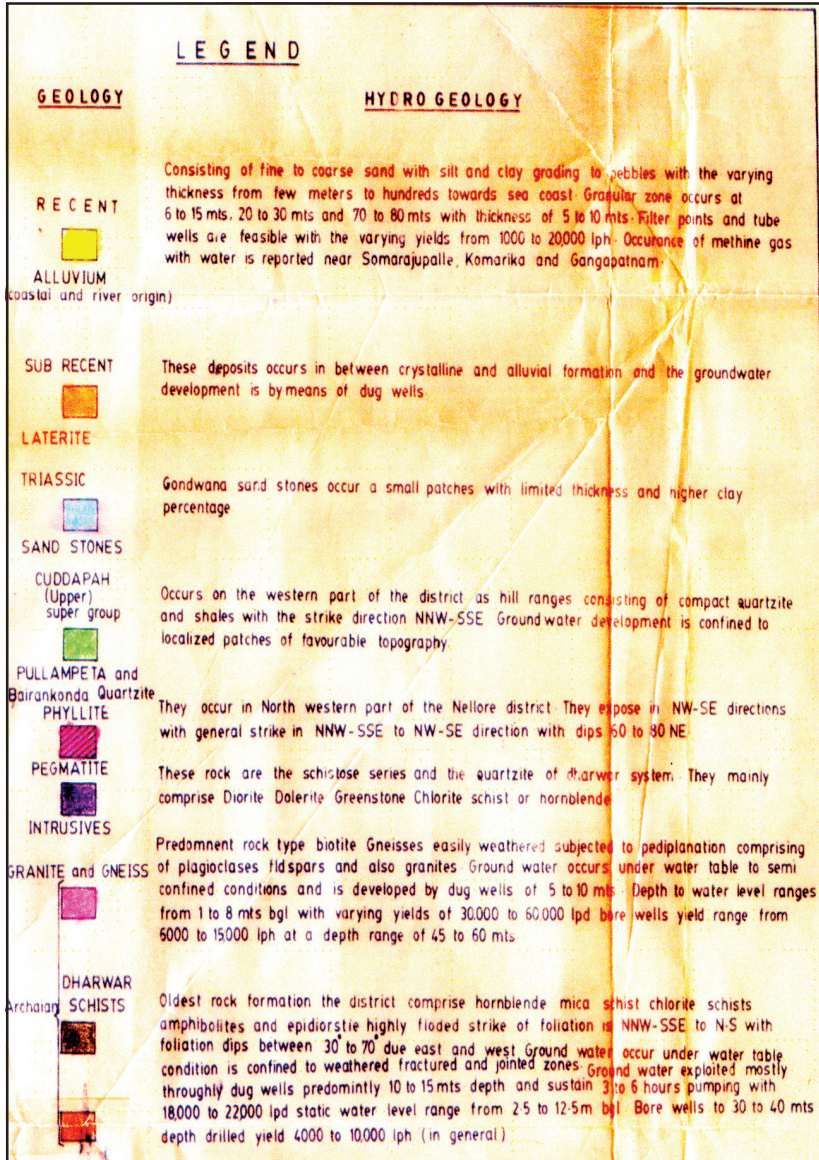
The Lateritic formation is widely distributed in the areas of eastern part of district in Kavali, Guduru, Nellore and Kovvuru Taluks. The ground water occurs under table conditions and is developed by only dug-wells down to depth range of 10 to 12 mts in the village such as Gudali, Mettu, Chittedu, Gunapadu, Kadivedu etc. Due to ecountrance of clay beneath this formation the areas are not feasible for borewells.

3) The alluvial tracts of swarnamukhi pennal, Kalinga Rivers occupy the parts of sullurpeta, Venkatagiri and Guduru Taluks and Nellore, Kovvuru and Atmakur Taluks and Sullurpeta respectively. The ground water occurs under water table to semi confined conditions and is developed by filter points down to depth range of 15 to 80 mts with discharge ranges of 2000 to 10000 GPH. The Kalinga River alluvium is very small and occupy the area of Sullurpeta and filter points are feasible at village of Tanayeli at depth range of 10 to 15 mts with discharge of 2000 to 3000 GPH.

In costal alluvium at Dugarajupatnam etc. ring wells are feasible with salt water intrusion with the fresh water pockets in these areas fresh water may be tapped following the time schedule of the duration of fresh water accumulation on salt water.



Ground water condition are depicted in the tentative Hydrogeological Map



22. GROUNDWATER PROVINCES OF INDIA

Introduction

Peninsular Provinces

Ganges - Brahmaputra Alluvial Province

Himalyan High Land Province

INTRODUCTION:

Ground water province is an area characterized by a general similarity in the mode of occurrence of groundwater. According to Mienzer, the following criteria are used for the determination of ground water province.

- i. A large area in which one group of aquifers exists
- ii. Where more than one of the principal groups of aquifers occur, the extension of the most important of these determines the limit of a province.
- iii. In rugged and lofty mountainous regions the topography and to some extent the climate produce radical changes in ground water conditions which eclipse the difference due to the presence of different groups of aquifers.

Physiographically and geologically India falls into three principal divisions, namely the Peninsula, Ganges-Brahmaputra alluvium (Indo-gangetic alluvium) and the Northern mountain Zone. The divisions are very suitable for separating the main water province. Topography determines the manner of occurrence of water in northern mountain zone, through varied geological formations occurring in this zone. The Ganges-Brahmaputra alluvium forms a single geological unit composed of recent fluvial sediments, many of them with high

porosities and Transmission coefficients. With respect to the occurrence of ground water, India can be divided into eight provinces lying in three major regions. Taylor proposed this division in 1959.

- a) Peninsular region:
It contains six ground water provinces
 - i) Precambrian crystalline province
 - ii) Precambrian sedimentary province
 - iii) Gondwana sedimentary province
 - iv) Deccantrap province
 - v) Cenozoic sedimentary province
 - vi) Cenozoic Fault Basin
- b) *Ganges - Brahmaputra Alluvial Province*
- c) *Himalayan High Land Province*

PENINSULAR PROVINCES:

In India, large number of ground water structures in various litho-units of hard rocks display wide variations in the yield characteristics. Weathered zones and fractured zones are the principal water-bearing horizons that yield ground water.

Hydrological information brings out clearly that the fractured zones have higher yield potential in comparison to the weathered zones. Also among the various lithounits, the traps seem to possess fractures down to greater depths and have the potentiality to produce significantly larger yields under favourable conditions.

PRECAMBRIAN CRYSTALLINE PROVINCE:

This province covers a major portion of the peninsular India, extending from Kanyakumari to Delhi. Plutonic Igneous and metamorphic rocks of Precambrian basement (Archean) consisting chiefly of Granites, Gneisses, Schists, Quartzites, Phyllites, Marbles, etc. are the major rock formations of this province. Ground water occurs

mainly in weathered and fractured zones of these rocks within depths of less than 50 m. Occasionally, Ground water occurs at a depth of 100 m.

Ground water development is largely through large diameter dug-wells and bore-wells. They have a discharge ranging from 20 to 200 m³/d. Generally ground water contains less than 1000 ppm of dissolved solids. But in some localities the water is brackish (or) saline. In the Westernghat region because of good drainage the dissolved solids are less than 200 ppm. Hardness is also low in these areas. High concentrations of Fluoride have been reported in many areas of this province such as A.P (Nalgonda and Prakasam dists.), TamilNadu and Karnataka.

PRECAMBRIAN SEDIMENTARY PROVINCE:

This province includes the following four discrete structural basins i) Cuddapah basin including kurnool group ii) Raipur basin iii) Vindhyan basin iv) Western Rajasthan basin.

The important rock types of this province are Shales, Slates, Sandstones, Quartzites, Limestones, Conglomerates, etc. This province covers the parts of the states of A.P, M.P.,Karnataka, Orissa, Rajasthan and Haryana.

Due to compaction and cementation the primary porosity is less in these formations. Ground water circulation is mostly through bedding planes, cracks, joints, and other secondary fractures. At some places limestone exhibits cavernous and solution openings thereby forming potential zones of Ground water.

Recovery of Ground water in this province is obtained from dug-wells, dug-cum-borewells and bore-wells. Bore-wells tap the fractured zones, solution channels and bedding planes. The yields of dugwells vary from 10 to 100 m³/d. The chemical quality of ground water in this province is inferior when compared with the water

from the precambrian crystalline province. The dissolved solids exceed 1000 ppm.

The water from sandstone of this province is good to better in quality when compared to the water from limestones, shales and other formations. However, the water is generally suitable both for drinking and irrigation.

GONDWANA SEDIMENTARY PROVINCE :

This province comprises more than a dozen faulted troughs, structural basins, containing mainly fluvial or lacustrine or consolidated or semiconsolidated sedimentary formations. Here the main rock formations are Sandstones, Shales, Clay beds, Grits and Basal Tillites. The rocks of this province belong to Gondwana sequence ranging in age from upper carboniferous to lower cretaceous. They are mainly developed along Mahanadi, Narmada, Sone, Damodar, and Godavari valleys, and Western parts of Rajasthan, Kutch and Saurashtra areas, and in scattered patches along the East Coast. The total thickness of the sediments is about 6000 to 7000 m.

The water table lies generally at a depth of 30 m. Gondwana sandstones form as good aquifers and at places they have given rise to flowing wells (Khammam dt in A.P., Surendernagar dt in Gujarat). Dug-wells in productive sandstones yield nearly 400 m³/day. Groundwater in this province usually contains less than 1000 ppm of dissolved solids. In Western Rajasthan and Kutch basins the quality deteriorates locally. Water associated with coal seams is sulphurated.

DECCAN TRAP PROVINCE:

This province occupies an area of about 5,00,000 Km² covering parts of Maharashtra, Karnataka, A.P., M.P., and Gujarat. This province comprises a series of Basaltic fissure flows. The traps are weathered, jointed and fractured. Intertrappean beds occur between certain flows. The occurrence and movement of ground

water in this province is controlled by

- i. Nature of the Trap (vesicular, Amygdaloidal, Zeolitic massive)
- ii. Degree of weathering
- iii. Intensity of fracturing and jointing (columnar joints)
- iv. Nature of junctional planes between Deccan traps and Inter Trappeans.

Groundwater occurs in the shallow weathered zone, vesicular and zeolitic zones and well jointed fracture zones. In this province, groundwater is developed by dug-wells and dug-cum-borewells. Ground water occurs under both unconfined and confined conditions in the trap rocks. The yields of borewells drilled down to a depth of 40 to 120 m ranges between 10 to 180 m³/h. The chemical quality of ground water of this province is generally good and the total dissolved solids are usually less than 1000 ppm. But in areas underlain by thick Black cotton soils, the water is brackish to saline.

CENOZOIC SEDIMENTARY PROVINCE:

This province comprises

- i. Three coastal plains and the Malabar and Coramandal coasts
- ii. Coastal fringes of the Saurashtra and Kutch peninsula.
- iii. An extensive embayment (sea covered area) in western India.
- iv. A belt of strongly folded rocks in Eastern India.

This province consists of shales, sandstones and conglomerates as the main rock types. Conglomerates and Sandstones where well sorted, purely cemented are highly permeable and form good aquifers. Water is confined under artesian pressure in the coastal regions. Recovery of ground water in this province is mainly obtained from percolation wells, dugwells, artesian wells and tube wells. In Krishna-Godavari area in A.P., Cauveri-Paleru area in Tamilnadu artesian aquifers occur. The discharge is more than 100

m³/h. Tube wells commonly yield 50 to 200 m³/h in the Coramandal coast.

The quality of ground water deteriorates towards the coast. But in the uplands the groundwater usually contains less than 1000 ppm of dissolved solids. In coastal plains of Saurashtra and Kutch, the groundwater is of inferior quality. The dissolved solids range 2000 to 5000 ppm. Due to depthwise increase in salinity, the wells are commonly dug or dug-cum-borewells.

CENOZOIC FAULT BASIN:

This province comprises three distinct fault basins. i) The Narmada ii) The Purana and iii) The Tapi valley.

Each basin consists of an extensive fill of unconsolidated Quaternary alluvium, mainly sand and gravel intercalated with silt and clay. Sand and gravel lenses form as good aquifers in this province. Recovery of groundwater is mainly obtained from tube and dug wells. Groundwater in Narmada and Tapi valleys contains 100 to 500 ppm of dissolved solids. But in parts of Purna valley the ground water is highly saline. The yield is in between 25-150 m³/h.

GANGES- BRAHMAPUTRA ALLUVIAL PROVINCE:

This province covers an area of 8,50,000 km² covering vast planes of Ganges and Brahmaputra. These planes are underlain by upper Tertiary and Quaternary alluvium which has been deposited in a fore deep. The vast and thick alluvial fill constitutes the most potential and productive groundwater reservoir.

Ground water occurs in these distinct physiographic and hydrologic belts. 1) Bhabhar 2) Terai 3) Axial.

The groundwater is mainly obtained from tube and dug wells and springs. The general range of groundwater yield is 100 to 300

m³/h and the water contains less than 500 ppm of dissolved solids.

HIMALAYAN HIGH LAND PROVINCE:

This province includes highly folded and faulted sedimentary rocks from Kashmir to Arunachal Pradesh. In this province the main rock types are limestones, sandstones, shales and their metamorphic equivalents, which are highly deformed by thrust faulting and folding in orogeny of Himalayas. Valleys are partly filled with Quaternary alluvium. The groundwater is obtained through springs and dug-wells. The dissolved solids in water are less than 500 ppm.



23. GROUND WATER PROVINCES OF A.P.

Introduction

Precambrian Crystalline Province.

Precambrian Sedimentary Province.

Gondwana Sedimentary Province.

Deccan Trap Province.

Cenozoic Province including coastal plains.

INTRODUCTION:

A.P. is geographically located in peninsular India(S_E part) covering about 2,76,254 sq.km. It has a coast line of about 972 km in length. Geologically A.P. comprises Archeans,Cuddapah, Kurnool, Gondwana, Deccan Traps & Cenozoic, Quaternary sediments. Basing on the water-bearing & water-yielding properties of rocks, the Groundwater provinces can be broadly grouped into the following:

i. Precambrian crystalline province. ii. Precambrian sedimentary province. iii. Gondwana sedimentary province. iv. Deccan Trap Province. v. Cenozoic province including coastal plains.

PRECAMBRIAN CRYSTALLINE PROVINCE:

This province covers hard and consolidated rocks such as Granites, Gneisses, Schists, Khandolites, Charnokites, Alkaline rocks, Dolerites, Pegmatites etc., From the groundwater potentiality point of view, all these rocks are considered as crystallines. They are hard and compact and impervious. Primary porosity is usually absent in them. But weathered zones, fractured zones, joints & shear

zones are the principal water-bearing horizons that yield ground water. Hard rocks, particularly when the depth of weathering is high, form as favourable zone for the groundwater accumulation. The intensity of jointing & weathering usually decreases with the depth.

So these rocks do not contain appreciable quantities of water below the depth of 60 m. The depth of water table is highly variable in these rocks depending on the topography and geohydrological setup. Generally groundwater is developed from these rocks by means of large diameter open-wells, dug-wells, borewells. Open-wells have a discharge ranging from 20-200 m³/days Bore-wells have an yield of 25 m³/hr.

Groundwater in these rocks contains less than 1000 ppm of T.D.S. But in some localities, particularly in coastal areas, the water is brackish or saline. This may be due to sea-water intrusion. High concentrations of fluoride have been reported in many places of this area such as Darsi, Podili, Kanigiri of Prakasam dist. and in parts of Nalogonda dist.

PRECAMBRIAN SEDIMENTARY PROVINCE:

This province includes the following geological formations:-

- i. Cuddapah super group
- ii. Kurnool group
- iii. Pakhal group
- iv. Sullavai group in Godavari valley

The important rock types of this province are Sandstones, Shales, Quartzites, Limestone, Conglomerates, Siltstones, Phillites, etc. Due to cementation & compactions, the primary porosity is less in these rocks. Groundwater circulation through bedding plane, joints, solution openings in limestones and other secondary fractures, cavernous limestones and highly jointed quartzites & Sandstones form as good aquifers in this province. Shale & Calcareous slates are impervious and they form as poor aquifers.

However, Tadipatri shales with moderate to high dips and fracture zones & Joints form favourable conditions for groundwater storage. Sullavai sandstone in warmth is formed as good water zone with good yields ranging from 30,000- 90,000 ltr./hr. Limestones of Cuddapah, Guntur, Kurnool, Adilabad, and Jaggayahpet areas are highly productive for the constructions of bore wells. Recovery of groundwater in this province is obtained from an increasing number of bore-wells, dug-wells and dug-cum- borewells. Yields of borewells range from 2,500 to 22,000 lit/hour.

The chemical quality of ground water in this province is inferior when compared with the water from precambrian crystalline province. The T.D.S exceeds 1000 ppm. The water from sandstones of this province is of better quality than that derived from limestone formations. However, the water is generally suitable both for drinking & for Irrigation.

GONDWANA SEDIMENTARY PROVINCE:

Gondwana groups of rocks occupy an elongated strip of land trending NNW-SSE in parts of Adilabad, Karimnagar, Warangal & Khammam districts of A.P in Godavari basin. Scattered exposures of upper Gondwana are found in coastal districts of A.P., ie. East & West Godavari, Guntur and Prakasam districts and Satyavedu area in Chittoor dist., Gondwanas include thick sections of Sandstone, Shales, Clay beds & Grits. From the groundwater point of view, productive aquifer horizons are Kamthi, Barakar , Chintalapudi, Gollapalli and Budawada sandstones. Ground water development in these formations is mostly from dug-wells, bore-wells and dug-cum-bore wells. Transmissibility range of some gondwana aquifers is given below:-

<i>Barakar sandstone</i>	<i>18-84 m²/day</i>
<i>Talchir sandstone</i>	<i>20-30 m²/day</i>
<i>Kamthi sandstone</i>	<i>28-950 m²/day</i>

<i>Chintalapudi sandstone</i>	56- 303 m ² /day
<i>Gollopalli sandstone</i>	80- 900 m ² /day
<i>Tirupathi sandstone</i>	86-1900 m ² /day

All these Gondwana sandstones are highly porous and permeable constituting promising aquifers. The quality of groundwater from gondwana formations is good. Groundwater in this province contains less than 1000 ppm of total dissolved solids. But in coastal traps of Guntur and Prakasam dists. groundwater became Saline due to sea-water intrusion.

DECCAN TRAP PROVINCE:

Deccan traps in A.P are restricted mainly to parts of Medak, Mahaboobnagar and Adilabad dists in Telangana region. Small patches of Deccan traps are exposed near Rajahmundry and other areas in East Godavari dist. These traps are underlain by Infra-trappeans (Sedimentary). Where Deccan traps are thin, the underlying sedimentaries form as potential aquifer. Ground water occurs in weathered Zones, vesicular opening, and joints fracture zones of Deccan Traps.

In the trap province, groundwater is developed by dug-wells and dug-cum-borewells. The general yield of borewells drilled down to a depth of 40 to 100 m, ranges from 1000 to 4000 lit/hour.

The chemical quality of groundwater in this province is generally good since the totally dissolved solids are less than 1000 ppm . But in areas underlain by thick black cotton soil, the water is brackish to saline because of the less drained nature of these soils.

CENOZOIC SEDIMENTARY PROVINCE:

This province in A.P covers Rajahmundry Sandstone, River Alluvium, valley fills, Coastal plains comprising quarternary sediments.

Rajahmundry Sandstones belonging to Mio-pliocene age occur along the East coast from Eluru to Visakapatnam, covering parts of East & West Godavari dists. They occur as isolated outcrops. They dip gently towards the coast and they are mostly undisturbed. These sandstones, are highly porous and permeable. Artesian conditons prevailed at some places. It is one of the important geological formations from the groundwater point of view. The discharge rate of groundwater is more than 100 m³/hour. Tube-wells yield 50-200 m³/hour., in the coastal districts. The depth to water table varies from 0.5 to 15 mts. Ground water development is mostly by dug-wells, bore-wells & tube-wells. The yield of groundwater in coastal plains ranges from 20,000 to 65,000 litres/hour.

Alluvium :-

Alluvium occupies an area of about 20,000 km² along the coastal track. The thickness & width of alluvium increases in Krishna, Godavari deltas. The alluvium comprises clay, silt, sand and gravel. Ground water potentiality in alluvium is highly variable depending upon the thickness of the granular zones and their texure (sorting). Alluvium can be classified broadly into valley fills & coastal alluvium, Valley fills occur along the river courses such as Pennar, Chitravathi, Cheyyair, Papagni, Swarnamukhi, along the Krishna river and its tributaries, and also Godavari river and its tributaries.

The thickness of the valley fills ranges from a few mts. to about 50 mts. Valley fills consist of pebbles, gravel and coarse sand. Most of the valley fills have very high permeability . Hence they can sustain high capacity shallow tube wells. There is a good potential for the ground water development. Coastal alluvium consists of fine grained sediments of sand and clay. It covers along the coastal tracks with variable width. It is widest in the delta regions of Krishna & Godavari rivers. It is very narrow beyond Tandava river in Vizag District. It attains a width of 10-20 km in the south of Ongole. In

coastal alluvium, dug-wells and filter points are common. But the quality of ground water is highly variable in coastal alluvium. It is saline at many places due to tidal effects of the sea in Krishna & Godavari dists. Ground water is saline even at depths close to the coast due to entrapped sea-water during sedimentation.



24. HYDROLOGIC CYCLE

Definition &

Description of Hydrologic Cycle with Figure and Equation

Definitions of

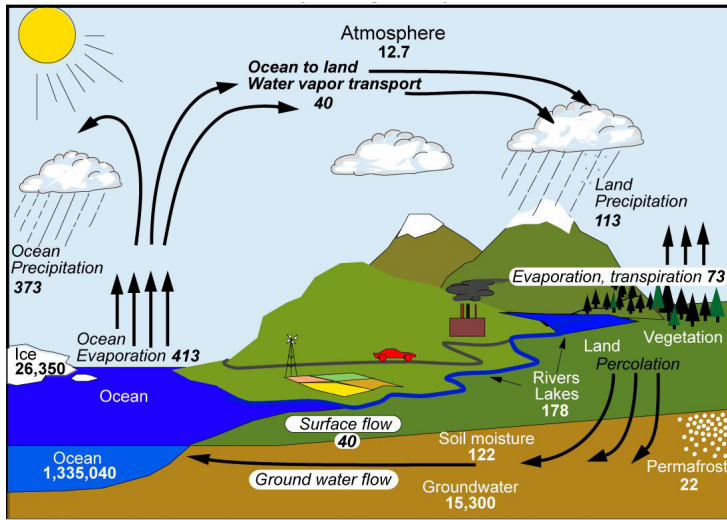
- a. Precipitation
- b. Evaporation
- c. Evapotranspiration
- d. Infiltration
- e. Runoff

DEFINITION:

The atmosphere, hydrosphere and the upper part of the lithosphere constitute three media in which the water of the earth circulates. This circulation of the water from oceans to the atmosphere, from the atmosphere to the lithosphere, and from the lithosphere to the oceans, occurring through the complex and interdependent processes including precipitation, runoff, ground water flow, evaporation and transpiration is called the Hydrologic Cycle. Solar and planetary forces provide the necessary power for the process. The hydrologic cycle is illustrated in the figure.

The hydrological cycle may be considered to begin with the water of the oceans. Water from the ocean surface is evaporated into the atmosphere. The amount of evaporation of water varies from region to region. Evaporation is greatest near the equator where solar radiation is more intense. Evaporated water is pure, since when it is carried into the atmosphere, the salts of the sea are left behind. Water vapour moves through the atmosphere as an integral part of *weather*. When atmospheric conditions are suitable,

water vapour condenses and forms droplets. This phenomenon is called *Precipitation*. Part of the precipitation falls directly on the seas and part of it falls on land surface. A portion of the precipitation that falls on the land is retained temporarily in the soil (soil moisture).



Hydrologic Cycle

Equation:

$$\text{Precipitation} = \text{Runoff} + \text{Infiltration} + \text{Evaporation} + \text{Transpiration}$$

If the surface of the soil is porous, some water will seep into the ground by a process known as ‘Infiltration’. Some water moves through the surface channels, reaching rivers, lakes and eventually to the sea. This is called as *Overland flow*. This is also subjected to evaporation and transpiration throughout its movement. The soil moisture may be drawn into the rootlets of growing plants. After the plants use the water, it is transpired as vapour into the atmosphere. This phenomenon is called *Transpiration*.

Excess soil moisture is pulled downward by gravity. At some

depth, the soil(or) rock is saturated with water. The top of the saturated zone is called water table. The water that is available below the water table is called *Ground water*. Ground water flows through the rock and soil layers of the earth until it discharges as a spring or seepage into a stream, lake or ocean.

Water flowing in a stream can come from overland flow or from ground water that has seeped into the stream bed. The ground water contribution to a stream is known as *base flow*. The total flow in a stream is termed as *Runoff*.

Evaporation is not restricted to open water bodies such as oceans, lakes, streams and reservoirs. Precipitation intercepted by leaves and other vegetative cover can also evaporate.



25. ORIGIN, OCCURRENCE, VERTICAL DISTRIBUTION AND FORMS OF GROUND WATER

Origin - Sources and Classification of Ground Water

Occurrence of Ground Water

Vertical Distribution of Ground Water with Figure.

a. Zone of Aeration

b. Zone of Saturation etc.,

Water Table

Forms of Ground Water

Recharge and Discharge Areas

Utilization of Ground Water

Water occupying all the voids with in the geological stratum is known as Ground water. The study of origin and occurrence of ground water is very important in hydrogeological investigations. It is essential to know the sources and classifications of ground water.

ORIGIN:

Sources and Classifications of Ground Water:

Ground water is derived from several sources such as Meteoric, Connate, Marine, Juvenile, etc. The common generic terms used in modern classification are Marine, Meteoric, Connate, Metamorphic (volcanic, Plutonic) , Juvenile. The definitions of these terms are as follows.

Marine Water:

Sea water or ocean water which has invaded rocks and un-consolidated sediments which are in contact with the ocean.

Meteoric Water:

Ground water which originates from precipitation is called Meteoric water. This water which is initially supplied by the rains or snow as a part of the hydrologic cycle is known as Meteoric water. Part of the rain water infiltrates or percolates downwards below the surface and forms the ground water. The infiltration also takes place from surface water bodies such as rivers, lakes and seas.

Connate Water:

The water that is entrapped in the rocks during their formations due to sedimentation in an aqueous environment, is called Connate water. Many sedimentary rocks are deposited and consolidated under water. Although compaction might squeeze out most of the water initially present in the pores between the grains, yet some water will be retained in the intergranular spaces of such rocks. Such water is known as Connate water. This water may have been derived from oceans or fresh water sources. It is typically highly mineralized. However, this water is of not much importance in yielding supplies for human consumption.

Juvenile Water:

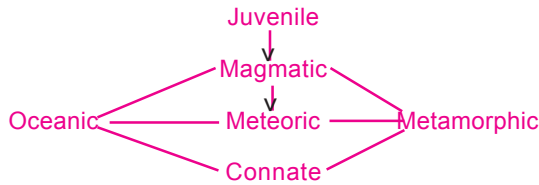
It is also called Magmatic water which is of only theoretical importance. It is the water formed in the cracks or crevices or pores of rocks due to condensation of steam emanating from magmas which exists at places below the surface of the earth. Some hot springs or Geysers are directly of such origin. Plutonic water also belongs to this category which is of deep-seated origin. Volcanic water designates water from relatively shallow depths.

Metamorphic Water :

Water that has been associated with metamorphic rocks during the course of metamorphism is called Metamorphic water. The chief

source of ground water is infiltration of meteoric water such as rain water, melted snow and ice, seepage from streams, rivers, lakes, reservoirs, ponds, channels and other water bodies. Other sources of water are of minor importance.

The inter relations of different generic types of ground water is shown in the given figure.



OCCURRENCE OF GROUND WATER:

Ground water occurs in the earth's crust in different forms, depending upon the lithology, stratigraphy and structure. Lithology is the physical make up of mineral composition, grain size and grain packing of the sediments or rocks that make up the geological systems. Stratigraphy describes the geometrical and age relations between various groups, beds and formations in geological systems of sedimentary origin. Structural features such as cleavages, fractures, folds, joints and faults are the geometrical properties of the geological systems produced by deformation after deposition or crystallization. In such consolidated sediments lithology and stratigraphy constitute the most important controls of mode of occurrence of Ground water.

The major geological units in terms of ground water occurrence and potentiality are as described below.

A. Unconsolidated

- i. Fluvial deposits ii. Aeolian deposits iii. Glacial deposits

B. Sedimentary rocks (consolidated)

- i. Sandstones ii. Carbonate rocks iii. Shales

C. Igneous and Metamorphic rocks (crystalline rocks)

D. Volcanic rocks.

Fluvial Deposits:

Fluvial deposits are the materials laid down by physical processes in river channels or on flood plains. The materials are also known as alluvial deposits. Fluvial materials occur in nearly all regions. EX: Meanders, Flood plains.

Aeolian Deposits:

Sediments that are transported and deposited by wind are known as Aeolian deposits. Aeolian deposits consist of sand and silt. Sand dunes form along coasts and in inland areas where rainfall is sparse. In contrast with alluvial, aeolian sands are quite homogeneous in nature.

Glacial Deposits:

These include glacial till, glacio-fluvial sediments, glaciolacustrine sediments. Glacial till is the most abundant material that was deposited on the land surface during pliestocene time.

In the Precambrian shield region, till is generally sandy with variable amounts of silt and little clay. Glacial till aquifers have generally low permeability characters. Some of the melt water rivers would form aquifer deposits in the same manner as those of alluvial aquifers. Many glaciated areas have deposits of sand and gravel formed on top of masses of stagnant ice during episodes of glacial retreat. These are known as collapsed outwash deposits. It has been observed that clayey or silty, till and glaciolacustrine clay have network of hair line fractures. These fissures are predominantly vertical. These fractures impart enhanced capability of ground water flow.

*SEDIMENTARY ROCKS (CONSOLIDATED)**Sandstones:*

Sandstone forms the best repositories of ground water. Sandstone beds owe their origin to various depositional environments.

Common cementing materials for these sandstones are siliceous, calcareous and argillaceous. These minerals form as a result of precipitation and alter during ground water circulation. Compaction takes place as a result of pressures and temperatures at different depths. We find sandstones with different compaction orders in different geological strata. In general younger sediments are less compact than older ones. The yield and permeability characters therefore vary accordingly. The best sandstone aquifers yield water through their joints and fracture zones. Ex:- Rajahmundry sandstone.

Carbonate rocks:

Carbonate rocks mostly consist of Limestones, Dolomites and Dolomitic lime stones. Geologically young carbonate rocks commonly have porosities that range from 20% to 50% . Many carbonate rocks exhibit secondary porosity as a result of fractures or openings along the bedding planes. The water bearing capacity of carbonate rocks depends upon the secondary openings caused by solution action such as crevices, fissures, sinks, caverns, etc. Solution openings along vertical joints and bedding planes are more important from the point of their ground water yield. Concentrated vertical fractures provide zones of high permeability.

Shales:

Shales are the poorest aquifers. Although they are porous, they are impermeable. So, they are considered as Aquicludes. See the next chapter for the terms Aquifer etc.

CRYSTALLINE ROCKS:

Igneous and Metamorphic:

Igneous and metamorphic rocks are relatively impermeable, hence they serve as poor aquifers. Where such rocks occur near the surface under weathered conditions, they have been developed by small wells for domestic water supply. Acid granites are susceptible

for weathering more rapidly than basic granites. If the top weathered layer is followed by fractured and jointed layer, below which hard rock occurs, weathered, fractured, and shear zone layers constitute potential zones of ground water.

Volcanic rocks:

Volcanic rocks can form highly permeable aquifers. The openings in basalt such as vesicles, cavities between adjacent Lava beds, cooling cracks, fissures, and columnar joints etc. form as good aquifers.

VERTICAL DISTRIBUTION OF GROUND WATER

The subsurface occurrence of ground water is divided into the following zones.

i) Zone of Aeration

ii) Zone of Saturation

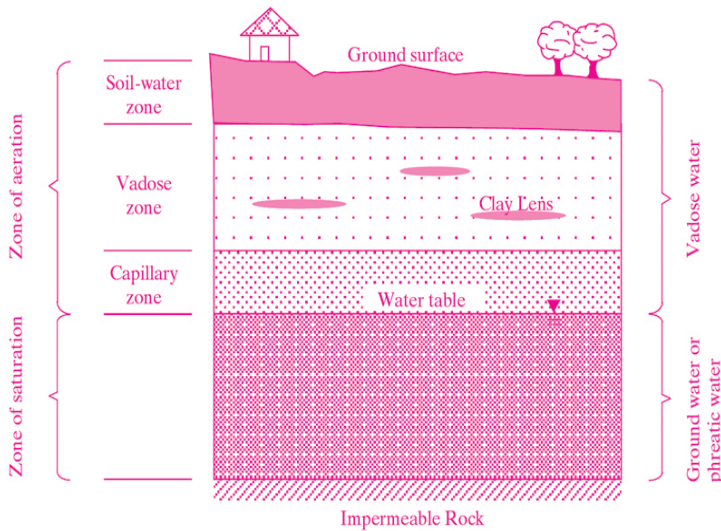


Figure 8.3

Vertical zones of subsurface water.

The zone of aeration consists of interstices occupied partially by water and partially by air. In the zone of saturation all the interstices are filled with water under hydrostatic pressure. On most of the land masses of the earth a single zone of aeration overlies a single zone of saturation and extends upwards to the ground surface (as shown in the figure).

In the zone of aeration, vadose water occurs. The term vadose is derived from Latin ‘vadosus’ meaning shallow’. This zone may be further sub-divided into soil water zone, intermediate vadose water zone and capillary zone.

The saturated zone extends from the upper surface of saturation down to underlying impermeable rock. In the absence of overlying impermeable strata, the water table or phreatic surface forms the upper surface of the zone of saturation (phreatic= well). Water occurring in the zone of saturation is called ‘Ground water’ or ‘Phreatic water’

ZONE OF AERATION:

Soil water zone:

Water in the soil water zone exists at the zone of saturation except temporarily when excessive water reaches the ground surface as from rainfall or irrigation. The zone extends from the ground surface down through the major root zone. Its thickness varies with the soil type and vegetation, because of the agricultural importance of soil water in supplying moisture to roots. Agricultural scientists and Soil Scientists have studied soil moisture distribution. The amount of water present in the soil water zone depends upon evaporation, climate and other factors.

Intermediate zone:

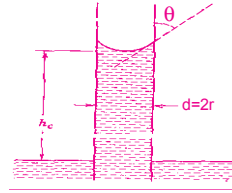
The intermediate vadose zone lies in between soil water zone and capillary zone (as in figure). The thickness of this zone varies

from 0 to more than 100 m. This zone serves as a region connecting the zone near ground surface with that near the water table . Through this zone excess water migrates downward as Gravitational water.

Capillary Zone:

This zone is also known as ‘capillary fringe’. It extends from water table upto the limit of capillary rise of water. The phenomenon of water raising through the tubes of small dimensions against the force of gravity is called ‘capillarity’. It is due to surface tension in water and adhesive forces exerted by the walls of the tube . The height to which water will rise in a uniform tubular opening is a function of the size of the tube and density of water. It is expressed by the following relation.

$$h_c = \frac{4 T}{d \rho g} \cos \theta$$



Where h_c is the capillary rise above the free water surface in cm, ‘T’ is the surface tension coefficient of the air water interface, ‘ θ ’ is the angle of contact between the air water interface, and the wall of the capillary tube, ‘d’ is the diameter of the tube (in cm). ‘ ρ ’ is the density of water (in gm/c.c), ‘g’ is the gravity in N.

From the above expression, it will be found that height of the capillary rise of water in rocks is related to

- i. *Dimensions of the voids*
- ii. *Clean up of the walls of the interstices*
- iii. *Temperature*
- iv. *Mineral content of water on which density depends*
- v. *Relative altitude of the rock where capillary phenomena are operative.*

If the rock formations are of sedimentary origin, the height of a capillary fringe depends upon the size of the grains and their sorting. In fractured rocks, the capillary fringe is determined by the size of the open joints and the size and sorting of the material filling up the joints.

<i>Formation</i>	<i>Capillary raise in Cm</i>
<i>Gravel</i>	<i>< 5 Cm</i>
<i>Coarse Sand</i>	<i>5-15 Cm</i>
<i>Clay</i>	<i>> 200 Cm</i>
<i>Loam (Sand+Clay)</i>	<i>150-200 Cm</i>

ZONE OF SATURATION:

In the zone of saturation, ground water fills all of the interstices. Hence, the porosity provides a direct measure of the water contained per unit volume. A portion of the water can be removed from subsurface strata by drainage.

Water Table:

The surface below which rocks are permanently saturated with water is known as 'water table'. The actual position of the water table shows seasonal variations. During the rainy season more water is added than is lost. So, water table rises and it will be very nearer to the surface. During summer more water is lost than is added. So, water table slowly sinks. Thus we can notice seasonal fluctuations in the positions of the water table. Water table itself is a surface. The surface is never flat. It is a subdued replica of the surface topography. Below the hills it is arched up, whereas below the valleys it is depressed. The reason is that the movement of ground water is so slow that there is no time to flatten out the water table before the addition of new supply from above. Directly as a result of unevenness of the water table surface, the ground water becomes

mobile. The high areas in the water table tend to flatten out. Where, as the low areas tend to be filled in, if there is no addition of water, eventually, the water table will flatten out.

FORMS OF GROUNDWATER

Man brings somewater to the surface by means of wells, but much groundwater reaches the surface as a result of natural seepage, as in springs.

Wells:

A hole dug into the ground to a considerable depth which reaches the water table is called a well. If it is to be considered lasting forever, a well must be so deep that the water table will never be below its bottom, even during drought time. Wells should penetrate the zone of saturation and we should see that the wells donot become polluted.

Artesian wells:

The aquifer is a permeable bed and is overlain and underlain by impermeable (confining) beds. These realtionships cause a pressure head to exist, and the water stands higher near the recharge area. When a well is drilled into the aquifer, the pressure forces the water to rise above the aquifer. If the pressure is high enough, the well may be a flowing artesian well. The water tends to rise to the same level as the water table in the aquifer, as in a U-shaped tube, but friction prevents it from rising as high.

Springs:

A spring is developed when ground water comes to the surface and flows out more or less continuously

- i. Hill side springs occur in hilly areas where the water table interescts the land surface.

- ii. Fissure springs are naturally formed artesian wells, where the water reaches the surface through cracks or fissures in the rocks and comes out with considerable force.
- iii. Hot springs or thermal springs contain water that has been warmed by contact with heated rocks in the subsurface. Eg. Old Faithful in Yellowstone National Park in Wyoming in USA and Rotorua Spa in New Zealand.
- iv. Mineral springs contain an unusually large quantities of dissolved salts such as NaCl , KHCO_3 and MgSO_4 and some times gases such as CO_2 or H_2S .

Geysers:

A geyser is a special type of thermal spring that intermittently erupts a column of steam and hot water. They originate in areas

- i. Where ground temperatures are very high, and
- ii. Where long narrow cracks are likely to be present in the rocks.

The ground water at the bottom of these cracks is heated to temperature far above the boiling point of water. The super heating of the bottom water is made possible because of pressure exerted by the water that lies above it. As a result, the water in the bottom of the crack expands and causes some of the overlying water to overflow on to the surface. This overflow relieves part of the pressure and allows the hot water to explode into steam, ejecting a great column of water in to the air.

Ex:- Old Faithful Geyser in the Yellowstone National Park in America. It erupts columns of steam and water at intervals of (varying from) 60 min. It raises water to a height of 80m. Geysers are usually found in regions that have undergone recent volcanic activity and where there is still some magmatic activity at depth below the surface.

RECHARGE AND DISCHARGE AREAS:

Areas can be delineated into recharge and discharge areas depending on whether water in these areas is added to or abstracted from the zone of saturation. In the case of an unconfined aquifer, usually the areas occupying higher elevations with deeper water table constitute the recharge areas, whereas the topographic lows with shallow water table comprise natural discharge areas, between these two lies an intermediate transition zone characterised by extreme recharge conditions in some part of the year and discharge conditions in others. The boundaries keep changing, depending on the depth of the water table. In the case of an artesian aquifer, the recharge area is restricted to the out crop of the aquifer where it becomes uncontinued. If the confining layer is semipermeable, water may be supplied to or lost from the aquifer depending on the head differences

Ground water discharge areas are characterized by outcropping of the water table or the capillary fringe through which water is lost to the atmosphere by evaporation and transpiration or to streams as base flow. In general the outlets of ground water are diffused in the form of seepages, but at places, the flow may be directed in the form of springs through well-defined outlets.

UTILIZATION OF GROUND WATER:

Ground water is an important source of water supply throughout the world. Its use in irrigation, industries, municipalities or rural homes continues to increase. Cooling, air-conditioning have made heavy demands on ground water because of its characteristic uniformity in temperature.

Ground water is the primary water source in arid regions, and surface water in humid regions.



26. WATER-BEARING AND WATER-YIELDING PROPERTIES OF ROCKS

Introduction

Porosity

Permeability

Darcy's Law

Specific Yield

Specific Retention

INTRODUCTION:

Some rocks are highly dense and devoid of interstices. Some other rocks are quite porous and can absorb water readily. Interstices in rocks have two functions, namely to store water(storage) and to allow water to pass through them(conduit). These two are dependent upon water-bearing, water-yielding & transmissive properties of the rocks. These properties differ in different rock formations and show diversity in origin, mineralogic composition, geological history and climate. Water-bearing, water-yielding properties of geological formations differ one from the other. The following are important water-bearing and water-yielding properties of rocks.

1. Porosity 2. Permeability 3. Hydraulic conductivity
4. Specific retention 5. Specific yield 6. Transmissibility

POROSITY:

It is defined as the ratio of the volume of voids in a rock mass to the total volume of the rock which is expressed in percentage.

If a is the porosity, V is the total volume of the rock and V_1 is the total volume of voids present in the rocks, then

$$\alpha = \frac{V_1}{V} \times 100$$

Effective Porosity:

The amount of interconnected space available for flow of water is called Effective Porosity. It is also expressed as the ratio of interstices to the total volume. Porosity present in rocks may be either primary or secondary. Primary porosity is that which is present in the rock right from its formation. Secondary porosity is that which is developed after the formation of rocks.

Primary Porosity:

Primary Porosity occurs as intergranular spaces in a sedimentary rock. It depends upon the size, shape and the arrangement of sediments. The degree of compaction and cementation of sediments are also the factors influencing porosity. In volcanic Igneous rocks, primary porosity is due to the vesicular structure. These vesicles may or may not be interconnected. From the Ground water point of view, these vesicles should be interconnected by fractures but not isolated. Among metamorphic rocks, foliation & lineation are responsible for little primary porosity.

Secondary Porosity:

Secondary Porosity occurs in rocks mainly in the form of 1.Joints 2. Faults 3.Shear Zones 4. Irregular Cracks 5. Solution openings in limestones 6.Openings of minor importance produced by the work of plants and animals and mechanical erosion. Secondary porosity may occur in all rocks due to weathering, (Desintegration and Decomposition). Weathering phenomenon produces a soil which is highly porous.

Factors Influencing Porosity:

(a) Porosity decreases with depth because density of rocks

increases with the increase of depth. This is also because joints and cracks etc, decrease in number and magnitude with depth. Further, the weathering effect also decreases with increase of depth.

(b) The porosity of sediments depends upon the type of packing. If the fragments are subjected to cubic packing, its porosity is about 48%. On the other hand, if the same material has undergone rhombohedral packing, its porosity is about 26%.

(c) In unconsolidated sediments, the porosity is more when compared with consolidated rocks. This is because of the fact that in the consolidated sedimentary rocks cementing material decreases the porosity.

(d) Porosity also depends upon the rock texture.

- i. Well-sorted sedimentary deposits have high porosity
- ii. Unsorted sedimentary deposits have low porosity.
- iii. In well-sorted sedimentary deposits, suppose the pebbles are also porous in addition to the intergranular pores, as a whole they have very high porosity.
- iv. If the mineral matter is deposited in the intergranular space of the sediments, their porosity decreases.
- v. In carbonate rocks the porosity is developed by solution action.
- vi. Rocks which have been subjected to tectonic disturbances (tensile & compressive stresses), porosity is developed by fracturing.

(e) Porosity increases with the increase of grain size. Sediments of same shape exhibit low porosity, when compared with sediments of different shapes. Angular breccia may have higher porosity than rounded conglomerate.

(f) The average porosity values of some common geological formations are given below:-

<i>Granite, Quartzite</i>	<i>1.5%</i>
<i>Slates, Shale</i>	<i>4%</i>
<i>Limestones</i>	<i>5-10%</i>
<i>Sandstones</i>	<i>10-15%</i>
<i>Sand with gravel</i>	<i>20-30%</i>
<i>Only gravel</i>	<i>25%</i>
<i>Only sand</i>	<i>35%</i>
<i>Clay</i>	<i>45%</i>

(g) Rocks which do not have any porosity can't yield any ground water. Porosity in a rock provides not only space for the occurrence of ground water but also scope for its movement through the rock.

PERMEABILITY:

It is the ability of the rock to transmit water through it. A permeable rock always has high porosity, but a highly porous rock may not be permeable. Ex: Clay has a high porosity but low permeability. Sand has porosity less than clay but it is more highly permeable than clay. Permeability depends upon the following factors:

a. Size of open spaces:- Larger open spaces allow free flow of water. As the space becomes smaller, the permeability decreases. In clay the open spaces are so small that the surface tension effect causes the films of water to cling to the clay particles and make the water static. Moreover clay has the character of plasticity. Because of this property also its permeability decreases.

b. Interconnection between Open Spaces:- When the various open spaces are interconnected with each other, their permeability increases. Pore spaces and fractures which are not connected make the rock impermeable. Ex: Vesicular basalts are highly porous but less permeable due to the absence of interconnection between the vesicles.

c. Sorting of Grains:- Well-sorted sediments have a higher permeability than unsorted sediments. A uniformly coarse grained gravel has a higher permeability than the same rock consisting of fragments of different rock sizes.

d. Flow rate:- The flow of ground water through a porous medium is very slow. The flow rate of ground water varies from a few cms per year in rocks of low permeability to several cms per sec. in large passages of some caves.

DARCY'S LAW:

The movement of ground water depends upon the prevailing effects of gravity, velocity and pressures of water. Darcy's law may be defined as "The flow of water through a porous medium is proportional to a factor known as hydraulic gradient or hydraulic conductivity or coefficient permeability (K) which is characteristic of porous medium and cross-sectional area of an aquifer that is transmitting the water". This is expressed as $Q=KIA$

Using Darcy's law, what is the expected flow velocity V of water for clear sand 200 ft thick in a 1 mile wide valley? The sand has a K value of 500 ft per day and a water table slope of 5 ft./mi. The porosity of the sand is 20%. Note that 1 mile equals 5280 ft.

Solution: First, Solve for Q:

$$\begin{aligned} Q &= KIA \\ &= (500\text{ft/day}) (5 \text{ ft} / 5280 \text{ ft}) (200 \text{ ft} \times 5280 \text{ ft}) \\ &= 500,000 \text{ ft}^3/\text{day} \end{aligned}$$

Now solve for the average velocity of flow:

Since $Q = VA$, then $V = Q/A$

Because the actual flow is only through the area of voids (porosity) in the cross-section, then the velocity of flow through the sand is:

$$V = \frac{Q}{A \times \text{porosity}} = \frac{500,000 \text{ ft}^3/\text{day}}{200 \text{ ft} \times 5280 \text{ ft} \times 20\%}$$

K =coefficient of permeability

Q =volume of water through a porous medium flowing per unit time through a cross-sectional area 'A' under a hydraulic gradient 'I'

Hydraulic gradient I measured by the difference in vertical elevation of water table between the two points divided by the distance between the two points.

Coefficient of Permeability:

From the above relationship it is clear that the volume of water flow depends upon the factor K. This K is defined as the "coefficient of Permeability. Coefficient of permeability is defined as the "ratio of flow water through a unit cross-sectional area of the aquifer of porous medium under a unit hydraulic gradient". Since Q/A gives the velocity of flow (V), it can be shown that the coefficient of permeability (K) expresses a velocity of flow for a unit hydraulic gradient (or) $V=K$ when $I=1$. Coefficient of Permeability for some geological formations is as follows:

<i>Geologic formation</i>	<i>m/day(coeff,of permeability)</i>
<i>Granite</i>	<i>0.04</i>
<i>Shale</i>	<i>400</i>
<i>Sand</i>	<i>4000</i>
<i>Sand and Gravel</i>	<i>40000</i>
<i>Gravel</i>	<i>400000</i>
<i>Clay</i>	<i>0.04</i>
<i>Lime stones</i>	<i>4</i>
<i>Slate</i>	<i>4</i>
<i>Quartzites</i>	<i>0.04</i>

To estimate the reserve of ground water and its flow of a geological formation, 'K' value has to be determined separately because the value determined for one rock type at a given place is not applicable even to the same rock type at a different place. This means that permeability is not only a function of its porous medium

but also of its geological environment.

Transmissibility:

Transmissibility literally means permeability. The coefficient of transmissibility (T) is defined as “the ratio of flow of water through a vertical strip of the aquifer of unit width and depth under a unit hydraulic gradient”. The relation between T & K is as follows

$T = Kd$, d = thickness of aquifer,

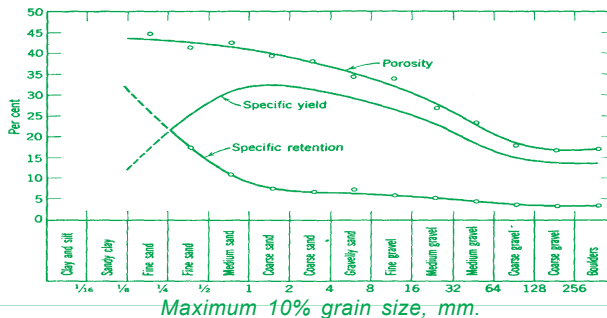
K = coefficient of permeability it is expressed in m^2/day .

SPECIFIC YIELD:

Porosity is a measure of the water-bearing capacity of the formation. All this water cannot be drained by gravity or by pumping from wells, since a portion of the water is held by the void spaces by molecular and surface-tension forces. The volume of water that can be drained by gravity (expressed as % of the total volume of the saturated aquifer) is called the Specific yield. It is denoted by S_y .

$$S_y = \frac{\text{Volume of water pumped out}}{\text{Total volume of the material drained}} \times 100$$

S_y = Porosity - Specific retention.



Porosity, specific yield and specific retention variations with grain size

SPECIFIC RETENTION:

The volume of water retained by molecular and surface tension forces against the forces of gravity, expressed as a percentage of the total volume of the saturated aquifer, is called specific retention. It is denoted by S_r .

$$S_r = \frac{\text{Volume of water held against gravity drainage}}{\text{Total volume of material drained}} \times 100$$

$$S_r = \text{Porosity} - \text{Specific yield}$$

$$\text{Porosity} = \text{specific yield} + \text{specific retention.}$$

Measurement of Permeability:

In the laboratory, hydraulic conductivity or coefficient of permeability can be determined with the help of permeameters. There are two types of permeameters, namely, 1.Constant head permeameters 2.Falling head permeameters. Constant head permeameter is used for soil sample with high permeability. The falling head permeameters is used for soils with low permeability.

In the constant head permeameters the water flow is maintained through a small sample of material and the measurements of flow rates and head loss are made. The constant head permeameters can measure hydraulic conductivity of consolidated or unconsolidated formations under low heads. Water enters the middle cylinder from the bottom and it is collected as overflow after passing upwards through the sample. From Darcy's law it follows that hydraulic conductivity can be obtained from the given below equation

$$K = VL/Ath$$

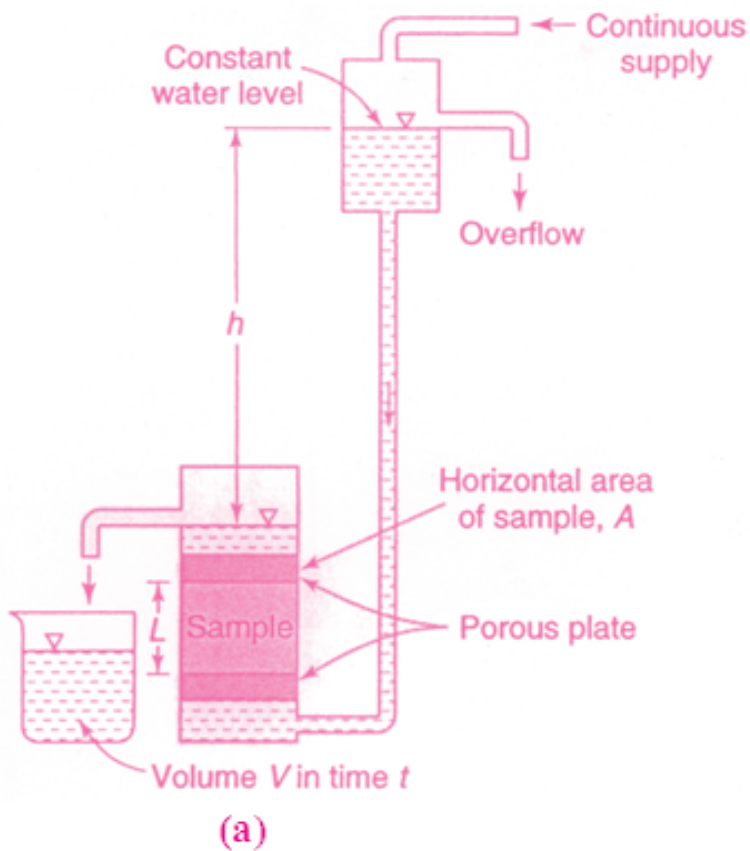
$$L = \text{length of the sample}$$

$$A = \text{Area of cross-section}$$

$$h = \text{height of constant water level}$$

$$V = \text{flow volume in time 't'.$$

Other dimensions are shown in fig.



27. HYDROGEOLOGICAL IMPORTANCE OF GEOMORPHIC PATTERNS

The Geomorphology plays prominent role in the accumulation of groundwater. The role of weathering and the regional structures are separately dealt with in the respective chapters. The effective structural patterns are detailed in this chapter.

A. DRAINAGE PATTERNS :

The design of drainage pattern is the expression of inequality in rock hardness, initial slopes, structural controls of a drainage basins.

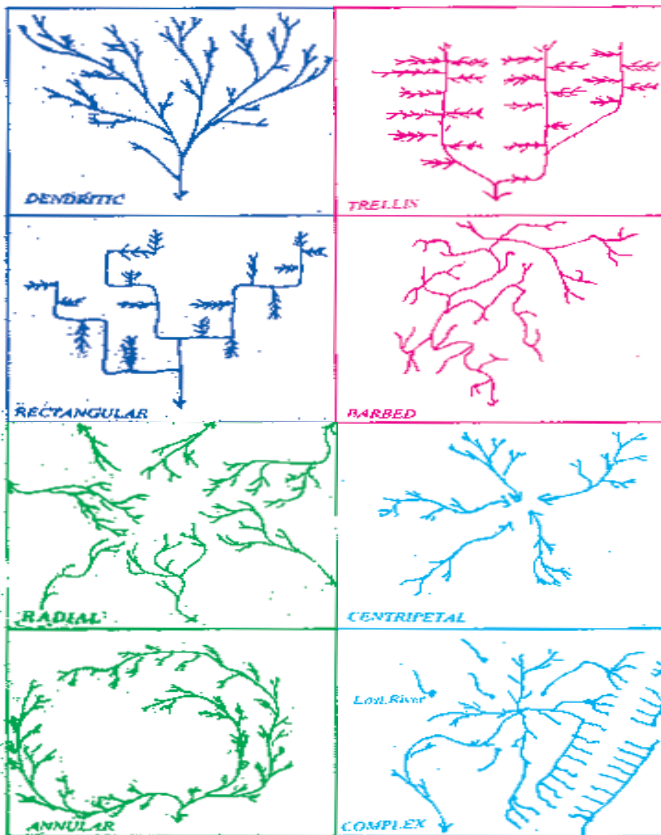
The following are various drainage patterns

- a) Dendritic type develops as irregular branching on the rocks of uniform resistance of sedimentary rocks or massive igneous rocks.
- b) Barbed drainage systems are a result of stream piracy (Development of catchment of one stream over the other).
- c) Rectangular drainage pattern represents right angled bands. They reflect control existed by joints and fault systems.
- d) Angular patterns are characterised by joints and faults and joins at acute or obtuse angles.
- e) Derranged pattern is complex drainage characterised by irregular stream courses which flow into and out of lakes and swamps. In such cases the groundwater is brackish and saline.
- f) Centripetal pattern shows drainage lines converging into a central depression. Such patterns are found on sink holes, craters and other basin like depressions.
- g) Radial patterns have stream divergence from a central elevated tract. They develop on domes, volcanic cones and other type

of isolated conical or sub-conical hills.

- h) Parallel patterns are found when there are pronounced slopes or structural controls which lead to regular spacing of parallel streams.
- i) Annular patterns are found over dissected domes which have alternate beds of weak and strong rocks encircling them. They have ring like planes.

Fig :



Different Drainage Patterns

B. DRAINAGE TEXTURE :

It is an important geomorphic concept by which we mean the relative spacing of drainage lines. In this both drainage density and stream density are included. It may be fine course in regions of high or low relief, gentle or steep slopes and young or old age topography.

The infiltration capacity which may be referred to their permeabilities of the mantle and bed rock is the most important factor influencing drainage texture. It is commonly observed that the drainage lines are more numerous over impermeable strata rather than over permeable ones. Naturally the sands and gravels lack surface drainage lines. Bad land topography influences fine drainage texture. Valley flanks are developed by lateral erosion of a stream.

Peneplain is the structure developed in a gently undulating terrain as a result of lateral erosion at the end of fluvial cycle.

C. ALLUVIAL FANS AND CONES :

Alluvium is the deposit formed by rivers. It is highly potential for ground water development by means of filter points and tube wells. Analogous to deltas, alluvial fans are deposited when a heavily loaded stream change gradient with resulting deposition of alluvium apexing at the point of emergence and spreading out into fan-like-form into the low land. If slope of the surface is steep it may be called alluvial cone. A series of adjacent fans may coalesce to form extensive pediment alluvial plain or bajada which extends several kilometers from the mountain front.

Fanglomerates from fan deposits and conglomerates from cone deposits are resulted.

D. PENEPLANATION :

It is a long and slow process. Burried topographic surface

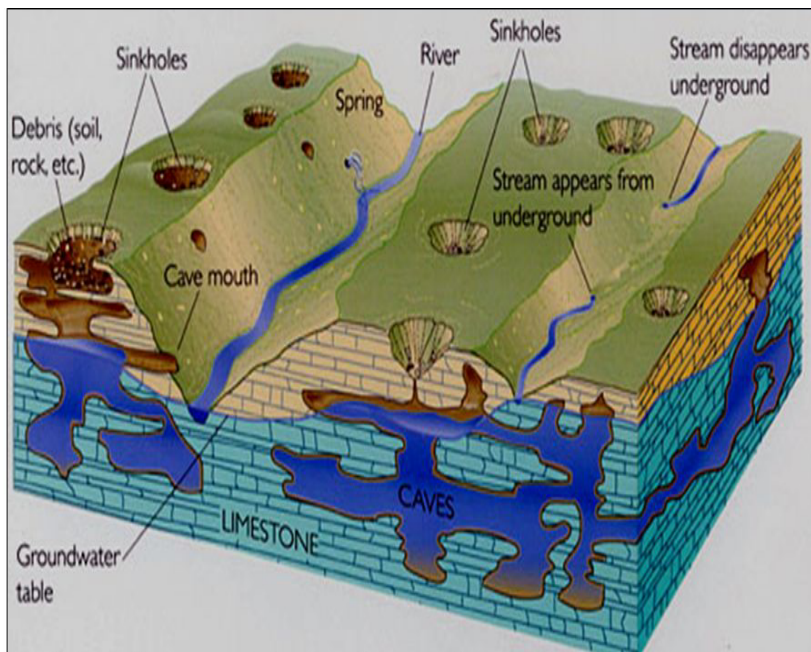
of sufficiently low relief to be considered pene-plains as sign of peneplanation. Peneplains are the result of coalescing pediments with rock floored plains adjacent to the mountain ranges draining into interior basins.

Panplains are used for a plain formed of flood plains.

Itch plains are the result of Itching process. Eg. Africa, Uganda.

E. KARST TOPOGRAPHY :

The word 'Karst' is a comprehensive term applied to lime stone or dolomitic areas, that possess a particular type of topography where the underground solution takes place diverting surface water to under ground channels. This has been named after stretch of lime stone plataeu in Ugoslavia and adjacent parts of Italy bordering the Adriatic sea.



a) ESSENTIAL CONDITIONS OF KARST DEVELOPMENT :

- 1) There must be soluble rock such as lime stone or dolomite and the rock formation must be dense enough highly jointed and thinly bedded.
- 2) Mass solubility in highly soluble rock will develop weak Karstification rather than the jointed lime stones and concentrated dissolution and permeability is restricted to joints and bedding planes. This latter featured rock is more favourable for karst topography. Sink holes and caverns develop along with ribbed weathering in this case.
- 3) Another important condition that favours excellent development of karst is the existence of entrenched valleys where up lands underlain by soluble and jointed rocks. This favours ready downward movement of groundwater through the rock.
- 4) Finally the regions must be one of atleast moderate to high rainfall. All remarkable karst areas are located in such rainfall regions.

b) FEATURES OF KARST TOPOGRAPHY :

i) Terrarosa : Usually groundwater leaves a residue of red clayey soil mantling the surface and extending downward into opened joints. It completely masks the rock surface and it is termed as terrarosa in case of gentle slope.

ii) Lapies : Locally where relief is considerable, surfaces are bare of terrarosa there is an exposure of itched, pitted or grooved or rugged surface to which the term lapie is applied.

iii) By far the most common observable feature of karst topography is the sink-hole, which is commonly funnel shaped and broadly opened upward. The sink hole ponds or karst lakes are

the connecting sink holes to water table with widening of their openings.

iv) Karst window is applied to an underground portion of an underground stream course through which may be seemed a stream that flows out of a cavern at the opposite side.

v) Empty valleys are called blind valleys.

vi) Solution valley or karst valley: It is a plain of sink holes of various types and is not part of typical karst plains but rather is completely and enriched by clastic rocks Eg. Borra caves.

vii) Caverns : A cavern may be defined as a natural subterranean path way or run way or voided. Caverns exhibit a variety of depositional features, namely stalactites and stalagmites which are pendent structures from roof and ascending deposits from the floors respectively.

CONCLUSIONS :

Geomorphic processes pave the way for the effective recharge of groundwater by the infiltration and percolation of precipitated waters. The drainage pattern leads to the different ways of recharging the ground water based on the nature of lithological units and weathering potential.

Rivers carry huge quantities of loose debris and deposit in the warplings where the velocities are arrested at the regions of lower relief and thus widening the valleys. The process of weathering and ebrasive and dissolution effects of water are paramount importance in the formation of favourable structural pattern for effective recharge of ground water. The Geo-morphic cycle plays a remarkable role in the localisation of groundwater to form good aquifers.



28. OPTIMUM WEATHERING IN GROUNDWATER EVALUATION OF ROCK FORMATION.

In any rock formation weathering is a common feature although the extent, range and intensity may differ or vary from place to place within the same or different terrains depending on the variance of factors of physico-chemical process. The potential that leads to effective weathering is of prime feature in the assessment of ground water conditions. This stage of weathering potential of rock formation in which the interstices are favourable for proper storage and movement of groundwater which can be tapped at quantitative and qualitative measures may be taken as “Optimum weathering”.

DEFINITION OF CONCEPT:

There are two phases of weathering which are physical and chemical in nature accomplished by the denudation processes of disintegration and decomposition. The physical weathering is resulted out of diurnal variation in temperature, wind, and abrasive action of water by which disintegration of rock formation is brought about leading to the increase of pore spaces. If this stage is foreshadowed by the chemical environment with increasing chemical potency in which the oxygenated, carbonated water and variable temperatures are effective, the rock formation is altered into substances of different composition forming as authigenic sediments which do not naturally suffer any transportation. This insitu formation results out of chemical weathering is mainly due to the process of decomposition.

The chemical weathering is so pronounced in case of lime stone terrain in which the dissolution takes place resulting in karst topography, the lower most bench of karstification is most favourable zones for the groundwater development. If pressure plays an effective

role in case of pronounced chemical weathering effected by temperature, the solution takes place at points of greatest pressure with consequent solidification at the point of least pressure according to Rockie's principle. This stage may be transgressive stage of metamorphism from the shells of weathering which is not so important for our present study.

The altered product so formed in the form of clay or altered mineral assemblage at the stage of chemical weathering, the pore spaces or vents in the rock formation which originally occur due to disintegration will be sealed by the accumulation of newly formed substances and thus causing hindrance for the movement of ground water which results in water logged conditions rendering such zones unfavourable for groundwater development. Hence it can be shown that the range between the intensified stage of physical weathering and initial stage of chemical weathering where the chemical potency is not favoured to alter the rock fragments may be taken as the optimum weathering of the formation which is effective for groundwater development.

But this range of optimum weathering differ from formation to formation and also in some cases topographic disposition of a terrain in relation to the hydrological features.

HYDROGEOLOGICAL SIGNIFICANTCE OF THE CONCEPT :

All lithological units suffer weathering whose intensity does depend on the nature of rock formation activity of weathering agents, disposition of the terrain. Groundwater occurs in the weathered zone of formation and its localisation to form as the ground water reservoir for the workable results depends mostly on the appropriate stage of weathering.

In case of semi-weathering the void spaces or openings in the formation are not well developed and the quantity of groundwater

is less even though the quality is fairly good. As the depth of weathering is also less the percolated water is drained due to sub-surface drainage and hence the terrain yields less quantity because of its disposition at higher relief. This is the case of foot hill zones and also areas occupied by resistant rocks.

In case of low lying areas the weathering potential is so intense thus the rock formation is subjected to more chemical weathering there by resulting the alteration of mineral assemblage to the stage of clay which inhibits the transmission of flow of groundwater because of sealing up of the void spaces and renders the area unfit for the groundwater development due to accumulation of salts and stagnation. In such terrains the yields are meagre with brackish water.

In a flattened area or the area with the undulations with fluctuating basement profiles in the directional trend of progressive weathering is subjected to optimum conditions and groundwater accumulation is more and yields are higher with permissible quality. Hence optimum weathering like effective porosity is more favourable condition for the accumulation of groundwater. If the geophysical traverses are taken up along the directional trend of weathering, this distinctive features may be clearly assessed. In lime stone terrain the chemical weathering renders the formation to the stage of dissolution thereby resulting ribbed weathering and sink holes. The area with these features enjoys karst topography and benches of karstification are resulted. The ground water is confined to lower most bench of karstification.

In other soft rock formations such as shales phyllites slates, sand stones etc., the ground water occurs mainly in the areas which are subjected to physical weathering rather than the chemical weathering. Similar is the case with hard rock terrain of crystallines.

While deleniating the productive zones this feature of optimum weathering has to be observed for the proper assessment of ground

water potentialities. However the directional trend of flow lines and other hydrological features should not be over looked under any circumstances while selecting a site for groundwater structures. Eq: In Guntur district the area around Kondaveedu hill range between Boyapalem and Pathur and also areas around the hills in Nidumukkala, Mothadaka, Endroi villages located on the way to Amaravathi may be cited as the typical examples.

In case of Kondaveedu hill range the weathering is progressive towards the east. Hence the area of foothill zone to the National Hi-way, is subjected to optimum weathering and further east the area is occupied by altered product of crystallines in the form of clay due to exceeding limits of optimum weathering and the area is unfit for ground water development because of brackish-ness and meagre yields. These cases are observed around the villages namely Chowdavaram and Pathuru and further east.

Similar is the case in the area around the hills in Mothadaka and Nidumukkala the area between foot hill zone and boundaries of altered products of crystallines is favourable for groundwater development because of the prevailing stage of optimum weathering. Further east and further west the area is unfit for groundwater development in the zone of clay admixtures which are the result of exceeding limits of optimum weathering of the formation.

In Addanki taluq of Prakasam District these features are perceived in the villages such as J. Panguluru, Kopperapadu. The extreme eastern margin of these villages are occupied by clay which is the altered product of the crystallines rendering the area unfit for the ground water development. The western parts and the surrounding eastern parts of villages are productive and groundwater is developed by means of dug and borewells.

In Lakkireddypalli Taluq of Cuddapah district the granite terrain with basic rocks and quartzitic intercalations is occupied by

hillocks and hill ranges and as a result highly undulated terrain is effected and the area is consequently traversed by good number of valleys which are not well pronounced. Hence the area is not subjected to conditions of optimum weathering except near Surabhi Village. Hence ground water development is limited to dugwell zone with meagre yields because of the shallow basement due to semi weathering conditions. But the quality of ground water is fairly good.

The valley portion near Surabhi is comparatively potential as it is extended with in the hill ranges of granite rock formation. The valley flattened with less slope hence adjacent rock terrain is subjected to optimum weathering and the groundwater body is influenced in such weathered rocks in which even dug wells of considerable yields are feasible near Balathimmaiah vari palli. In this valley the adjacent rock terrain besides Papagni river alluvium is devoid of groundwater because of its disposition on the valley flanks (drainage divides). Similar conditions are also observed near the villages such as Thimmareddypalli and Chakrayapeta due to subsurface drainage towards Papagni river. The groundwater is drained from the dividing lines.

As the valleys are ill defined in the taluqs the area is subjected to only semi weathered conditions and hence the yields are less.

CONCLUSIONS :

Weathering of rocks is a common feature. Groundwater occurs in the weathered portion of the rock formation. In semiweathered rocks, the porespace are less at higher relief of the terrain and the yields are less even though the quality is fairly good.

In low-lying area the weathering is so intense and mineral assemblage of rocks alter into clay minerals that seal up the opening causing stagnation and hinders the transmission of groundwater. Hence

such terrains yield less with brackish water unfit for ground water development.

Hence the weathering should be in optimum conditions for the proper development of porespace so as to facilitate the accumulation of workable reserves of groundwater. Such features of optimum weathering may be observed in flattened areas.



29. WATERSHEDS

Watershed management may be considered as the most modern method of successful implementation of the schemes for augmentation of water supply whenever and wherever the dependable artificial recharge conditions are to be adopted to cater the needs of mankind and to safe-guard equilibrium between eco-systems.

As it is evident that the land without water is a desert and that without soil is useless. The landforms in upland areas face such thirsty and hungry situations in terms of water and soil nutrients respectively. Clear understanding of the situation has to be arrived at by adopting the study on scientific line and execution of the water harvesting structures have to be taken up in appropriate situation on the net work of nallahs and streams in a drainage basin to conserve soil moisture and groundwater recharge, which are essential to sustained agriculture.

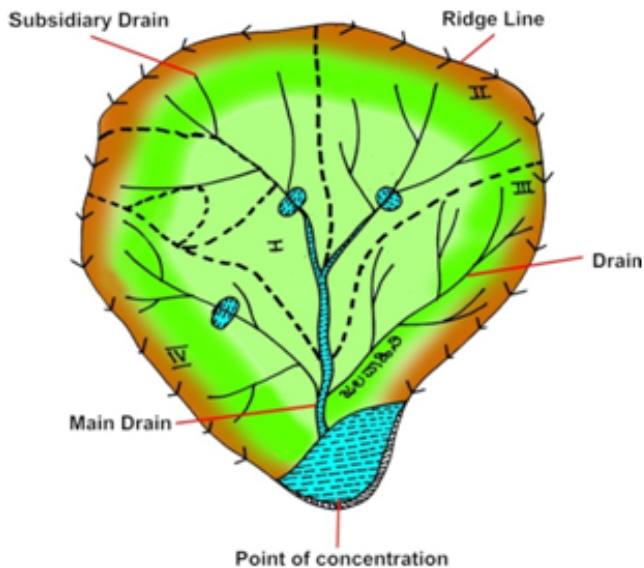
INTRODUCTION

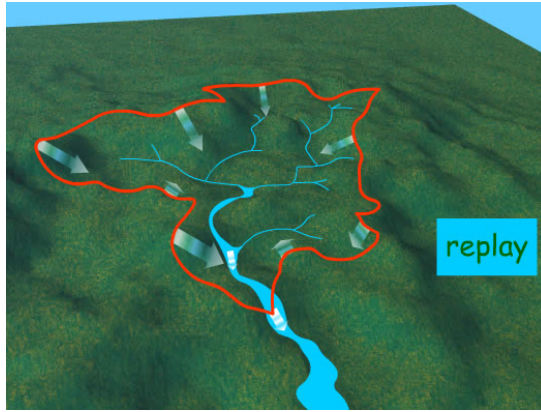
Watershed management is an integrated approach for improving the conservation and augmentation of soil moisture and ground water respectively. It not only retards the velocity of runoff water and facilitate the groundwater recharge but also arrest the soil erosion. Its treatment in different fields such as social forestry agriculture irrigation etc., leads to seasonal rainfall. The execution should not disturb the natural recharge of other area causing undesirable and adverse effects. The success of the scheme that depend on the co-ordination and co-operation of all scientific officers of the concerned line departments and also on the people appraisal and their participation in such development activities especially adopted in rural areas.

DEFINITION OF THE CONCEPT

Water-shed may be defined as a physiographic unit having definite boundaries within which the precipitated water will be drained towards the common channel and let out through single or limited outlets. The structural pattern of drainage basins with the formation of different shape and sizes of water-sheds facilitate to conveniently treat so as to arrest soil erosion and conserve soil moisture and groundwater by constructing harvesting structures such as Check dams, Percolation tanks, and also cultivating suitable crops and cropping systems. It finds much importance in the development of dry farming in upland areas. The reliability and validity of the real success depends on the implementation of the scheme for the benefit of majority of the people in the village.

WATERSHED





HYDROGEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF THE CONCEPT :

The watershed management has got significant effect in ameliorating the artificial recharge of groundwater so as to facilitate to augment water supply. Normally the drainage basins in up land areas are at higher relief with steep gradient that facilitate splash runoff. This leads to soil erosion in large quantities and less recharge of ground water. In order to retard the velocity of runoff and soil erosion watershed management may be taken up by proper treatment of the area under different aspects. In a properly treated area of watershed the velocity of runoff water is arrested and facilitate to infiltrate into the ground there by adding the additional resource to groundwater body.

In over exploited area which are categorized as grey and dark the watershed management is the immediate treatment which function as a remedial measure and restore the groundwater body safeguarding from the fluctuation and total depletion. Further its replenishment effect may reverse the gray and dark area features to that of white area which is the safe and desirable conditions for the utility of ground water.

TREATMENT

Water shed programme has got two types of component

- 1) Hardware component which are costly. Construction of check-dams, Percolation tanks, Bunding pattern, Diversion structures may be listed under this category.

- 2) Soft ware component includes crops and cropping systems.

The component may be further detailed as follows :

A) **Hard ware component :**

I) CONSERVATION LAND TREATMENT BY BUNDING, TRENCHING AND BENCH TERRACING.

- i) Graded bunds are to be taken up in moderate high rainfall areas, More than 600mm .
- ii) Contour bunds may be taken up in areas of flat topography.
- II) Sub-mergence bundhies may be taken up in areas of flat topography.
- III) Trenching may be adopted in non-cultivated areas.
- IV) Bund terracing may be taken up where slopes are in the order of 15-30%.
- V) Vegetative barriers are taken up in different soils and climatic conditions with suitable species.
- VI) Gross water ways may be adopted in the areas with shallow depths and flat side slopes to facilitate crossing of the channels by the bullocks and farming machinery. The gradient water way should be in accordance with the existance slopes of the ground.

II. WATER HARVESTING STRUCTURES

- I. Farm ponds, Executing pits in areas having flat topography and mostly in situations where watertable is close to the ground level.
- II. Minor Irrigation tanks :
- III. Water Harvesting bunds may be adopted in the areas having good soil conditions and infiltration rates.
- IV. Nallah bunds and percolation tanks.
The following features are to be adopted.
 - a) It should be flat and nallah reach
 - b) Catchment should not be less than 40-50 hect.,
 - c) Bed of nallah should be covered by soil of considerable permeabilities.
 - d) There must be emerging spill way.
- V. Stop dams may be created in relitively flat nallahs having narrow cross sections but carrying high discharges of fairly long duration.

III. WATER SURPLUSING AND GRADE STABILIZATION STRUCTURES:

- I) Waste weirs in bunds are the out lets are surplusing arrangement provided to dispose the excess of the water from agricutlture fields safely.
- II) Spill ways :
 - a) Drops spill ways are structures constructed across the channel facilitating the runoff water to flow through a weir. These structure are generally constructed in water courses at narrow cross sections.

- b) Mechanical spill ways are closed surplussing arrangement provided in farm ponds and reservoirs.
- c) Chutespill ways are paved channels in valleys carry high runoff discharges.

III. ROCK FILL DAMS :

A rock fill dam is an embankment constructed across a water way using variable sizes of stones. This is usually a permeable type of permanent or semipermanent structures adopted for gulley control. These structures have economical where loose boulders are locally and cheaply available and gulleys are not wider than 10m or so.



IV. GULLEY PLUGS :

These are earthen embankment usually constructed for blocking the active erosion prone gulleys for the stabilization.

B. SOFTWARE COMPONENTS

I. Crop productive programme :

- 1) efficient cropping system.
- 2) Optimal fertilizer usage.
- 3) Timely and effective weed management.

4) Timely planed production.

5) Timely harvesting at Physiological maturity.

II. Croppig systems may be adopted:

- 1) Crops and varities matching the rainfall patterns
 - 2) Crops and varities matching the soil moisture storage capacity.
 - 3) Crops and cropping systems for various situations.
- a) Monocropping may be adopted in areas of low rainfall of 350-600 mm. All soils which are rainfed are generally mono-cropped.
 - b) Inter cropping in many rainfall situations efficient utilization of results and stability in yields are best achieved through inter-cropping systems.
 - c) Double cropping systems are more common in areas having assuring moisture availability of period of 175 to 200 days and more and the rainfall must be 750 mm or more.

III. OTHER IMPROVED PRACTICES FOR CONSERVATION OF RESOURCES

- 1) Contour farming in this process, tillage operations are done along the contour line as far as possible.
- 2) Other software procedures are minimising erosion. Crop cover may be raised in contour strips. Improved crops management procedures are based on modifying farming techniques and making rational use of land.
 - a) Mulching and cropping residue management: Mulching is the process of covering the soil between crops rose with a layer of crop of residue.

b) Strip cropping is the method of growing alternative strips of different crops in the same fields.

IV. ALTERNATIVE LAND USE SYSTEMS:

Cultivating land in the long run leads to imbalance of the eco systems. For such lands an efficient land use system other than arable system would be more appropriate. Based on the land capability and land use systmes it is a essential to have maximum knowledge of watershed characterstics such as watershed shape, size, drainage, geology, soil, climate, and groundwater.

i) systems of arrable lands : Convensional crops some times fail to provide any substantial dividends during the periods of weather abarrations.

a) Alley cropping : Either systems in which food crops are grown in alleys formed by hedge rows of trees or shurbs. Eg. Leucauna Leucocephala, Gryricidia and Sesbania are preferable species which may be conveniently tried.

b) Lay farming : The dry lands are met with the scarcity of the water and soil respectively. In such situation lay farming of crop rotation including a proved posture may prove more appropriate. The modern concept of lay farming includes grass legume mixture and lay as a farm crop. Stylo senthes hamata 2-3 years cropping increases the siol Nitrogen.

ii) Systmes of Marginal lands :

a) Pasture management control: Gageing may help in holding the forage resources.

b) Tree farming: Trees play uital role in the maintenance of environmental and sustenance of mankind.

c) Selvi - pastoral management system have been found dependable propositions for utilization of degraded lands in arotic rainfall areas.

SUGGESTED SURVEYS IN WATERSHED MANAGEMENT:

- 1) Hydrological and Hydrogeological surveys to delineate the size and shape and other morphological features of watersheds.
- 2) Geophysical traverses to study the subsurface lithology and the nature of basement profiles.
- 3) Exploitation of groundwater in watershed should be within the limits of white areas, features so that the drawal of groundwater is only from dynamic reserves. The drawal from the static reserves is un-desirable. Hence in over exploited areas the groundwater structures must be kept constant and the harvesting structures should be constructed for augmentation of water supply.
- 4) Observation wells should be established in the vicinity of harvesting structures to study their impact by monitoring water levels and quality.
- 5) Siltation studies should be taken up for assessment of rate of soil erosion.

OUTCOME OF WATERSHED MANAGEMENT :

- 1) Improvement of the groundwater and safeguarding the depleting effect of the static water levels especially in the upland areas.
- 2) The treatment of watersheds in upland areas may reduce the water logging affects in the lowlying areas.
- 3) Reduction of flourine concentration due to dilution of ground water by artificial recharge. Ex. In Mandal areas of Podili, Darsi, Kanigiri and Pamuru.
- 4) Controlling floods in the lower reaches along the coastal lines due to retardation of runoff in upland areas.

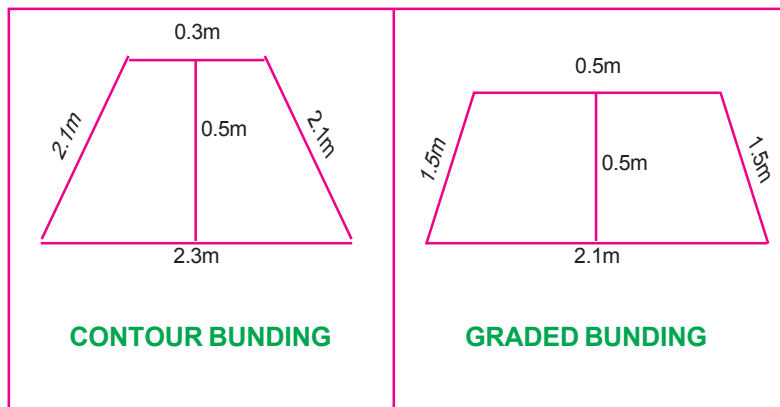
- 5) Improving social forestry etc., renders the area to recharge more rainfall in the drought prone areas.
- 6) To arrest soil erosion in the areas of steep gradients.
- 7) It also leads to bring more land under cultivation.

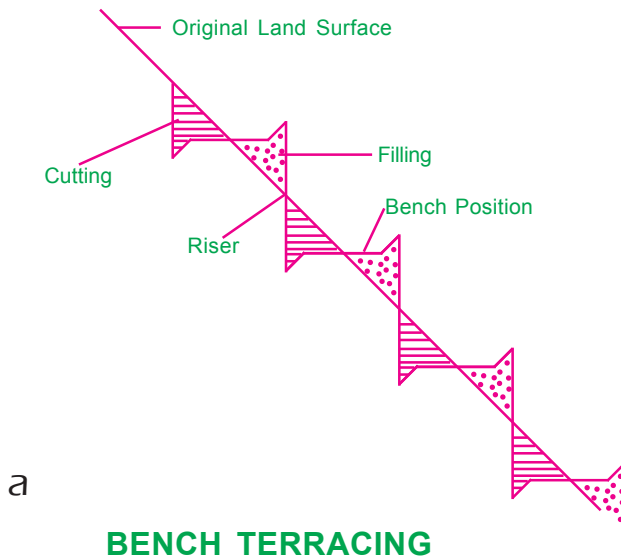
CONCLUSIONS :

The watershed management is a boon for the development of dry farming. In upland areas of drought prone districts such as Prakasam,

Anantapur etc., treatment has to be taken up according to the size and shape of the watersheds in phased manner. The watershed management may be used an integrated approach for over all development of the area useful for the majority of the people. The success of the scheme does depend on the co-operation and co-ordination of all line departments in addition to the people's participation.

Fig :-





Percolation tank at Ralegan Siddhi near Pune; Maharashtra; India

30. GROUNDWATER - WELL HYDRAULICS-PUMPING TEST

The well hydraulics deals with the groundwater flow during its pumpage in the wells in an isotropic medium the drawdown curve maintain perfect shape of cone of depression but the change in the shape of cone occur in resonance to the boundary effects.

I). STEADY RADIAL FLOW TO A WELL :

When well is pumped, water is removed from the aquifer surrounding the well and the watertable or piezometric surface depending on the type of aquifer is lowered. The drawdown at a given point is the distance that water level is lowered and the drawdown curve showing the variation of draw down with distance from the well. In three dimensions the drawdown curve describes a cone shape known as cone of depression. The outer limit of the cone of depression may be taken as the area of the influence of the well. For Fig. see title page.

II. WELL FLOW NEAR AQUIFER BOUNDARIES :

When a well is pumped near an aquifer boundary the assumption that the aquifer is of infinite areal extent no longer holds. Analysis of this situation involves the principle of superposition by which the drawdown of two or more wells is the sum of drawdown of each individual well.

By introducing imaginary (Image) wells, an aquifer finite at extent can be transformed into an infinite aquifer so that the solution method can be applied.

A) WELFLOW NEAR A STREAM :-

An example of the usefulness of the method of images is a

situation of a well near a perennial stream. It is desired to obtain the head at any point under the influence of pumping at a constant rate- Q -and to determine what fraction of the pumpage is derived from the stream. If the real well or image well are functioning in an opposite direction at the same distance from the stream so that buildup (increase of head around image well) and drawdown along the line of the stream cancel out. This furnishes constant head along the stream which is equivalent to the constant elevation of the stream forming the aquifer boundary the resultant asymmetrical drawdown of the real well is given at any point by the algebraic sum of the real well and the buildup of the recharge well.

B) WELL FLOW AT OTHER BOUNDARY :

The boundary aspects are similarly responsible for causing the asymmetrical drawdowns in case of other impermeable boundaries.

C) MULTIPLE WELL SYSTEM :

When the cone of depression to near by pumping wells overlap, one well is said to interfere with other because of the increased drawdown and pumping lift created. For a group of wells forming well fields the drawdown can be determined at any point if the well discharges are known or vice versa. From the principle of the superposition the drawdown at any point in the area of influence caused by the discharges of several wells is equal to the sum of the drawdowns caused by the each well individually.

D) PARTIALLY PENETRATED WELL :

A well whose length of water entry is less than aquifer it penetrates is known as partially penetrated well. The flow pattern in the such wells differs from the radial horizontal flow assumed to extend around fully penetrated well. The average length of flow line into a partially penetrated well exceeds that into a fully penetrating well so hat a greater resistance to flow is thus encountered. Hence

the relationship of the partially and fully penetrating wells may be shown as follows:

If Q_p is Q the S_p is greater than S and if the $S_p = S$ the Q_p is less than Q . Here the Q is well discharge and S is drawdown at the well and subscript p refers to the partially penetrating well. For the drawdown S_p at the well face of a partially penetrating well in a confined aquifer can be expressed as $S_p = S + \Delta S$ where ΔS refers to the additional drawdown resulting from the effect of the partially penetration.

DIFFERENT TYPES OF FLOWS :

1). DOWNWARD FLOW :

Area of downward of flow in which the saturated flow of ground water is directed away from the watertable.

2). UPWARD FLOW :

Area of the upward flow in which the saturated flow of ground water is directed towards the watertable.

3) LOCAL FLOW SYSTEM :

In which the area of downward flow at a topographic high and the area of upward flow at a topographic low are located adjacent to each other.

4) REGIONAL FLOW :

System in which the area of downward flow is at the main water divide and the area of upward flow is at the bottom of the drainage basin.

5) LAMINAR AND TURBULENT FLOW :

In an undisturbed stage groundwater moves steadily and slowly through pore spaces of rocks so that each particle of water

moves in regular path without crossing or intersecting those of others. The macroscopic velocity and directed flow are constant although on a microscopic scale which may differ from particle to particle. This type of movement is called laminar or viscous flow.

In contrast to laminar flow, turbulent flow or non-viscous flow in which the movement of water particle is a tenuous and irregular crossing and re-crossing at random accompanied by formation of eddies.

As the hydraulic gradient or velocities increase transformation occurs between laminar and turbulent flows. In turbulent flow the macroscopic velocity and direction of flow vary from point to point.

MULTIAQUIFER SYSTEMS :

While interbedded with clay, sand stones comprise a multi aquifer system if the beds are inclined and higher pressure artesian conditions may occur along dip flow. If more than one aquifer the pressure head may increase with depth of aquifer the head loss in deeper aquifer is comparatively less than that in shallower aquifers. At any given location the altitude of piezometric head increases in the lower aquifer. This explains why many artesian basins free flow from the wells tapping deeper aquifers is comparatively more than that well tapping from shallower aquifers.

PUMPING TEST :

Pumping test involves the drawal of water from the well and the drawdowns computed against time. The recuperation data has also to be taken for considerable period after stopping the pumpage.

From the pumping test data the aquifer parameters such as specific capacity, transmissibility and discharge may be calculated.

A typical pumping test data is given below with analysis.

PUMPING TEST DATA

PUMP TEST DATA OF DEVANAGARAM BOREWELL

- a) Measuring points : 0.25m agl.
 b) Static Water level : 3.20m from M.P.
 c) Dia meter of the borewell : 15 cm
 d) Total depth of the bore : 55.60 m
 e) Method of discharge measurment : 'V' notch.
 f) Water level measurment : Steel tape.

Hours	D.T.W. (m)	Drawdown (m)	Time since pumping started.	t.	t/t	Discharge Q in lpm.
1	2	3	4	5	6	7
16.00		Pumping was started				
16.04	6.50	3.56	4			660 lpm.
16.07	8.96	5.76	7			
16.10	9.84	6.64	10			
16.12	10.16	6.96	12			
16.14	10.385	7.185	14			
16.16	10.445	7.245	16			
16.28	10.585	7.385	18			
16.20	10.63	7.43	20			
16.25	10.695	7.495	25			
16.30	10.725	7.525	30			
16.40	10.790	7.56	40			
16.45	10.805	7.605	40			
16.45	10.805	7.605	45			
16.50	10.830	7.63	50			
16.55	10.845	7.645	55			
17.00	10.855	7.655	60			
17.05	10.870	7.670	65			
17.10	10.885	7.685	70			
17.15	10.895	7.695	75			
17.20	10.905	7.705	80			
17.25	10.915	7.715	85			
17.30	10.925	7.725	90			
17.40	10.945	7.745	100			
17.50	10.960	7.760	110			
18.00	10.970	7.770	120			
18.10	10.985	7.785	130			
18.20	10.990	7.790	140			
18.30	11.00	7.80	150			
18.40	11.101	7.810	160			
18.50	11.015	7.815	170			
19.00	11.020	7.820	180			

Pumping stopped

1	2	3	4	5	6	7
19.05	5.565	2.365	185	5	37	
19.10	4.485	1.285	190	10	19	
19.15	3.885	0.685	195	15	13	
19.20	3.835	0.3-635	200	20	10	
19.25	3.770	0.570	205	25	8.2	
19.30	3.715	0.515	210	30	7	
19.40	3.685	0.485	220	40	5.5	
19.50	3.625	0.425	230	50	4.6	
20.00	3.605	0.405	240	60	4.0	
20.10	3.570	0.370	250	70	3.57	
20.20	3.545	0.345	260	80	3.25	
20.30	3.520	0.320	270	90	3.0	
20.40	3.50	0.300	280	100	2.8	
20.50	3.475	0.275	290	110	2.63	
21.00	3.450	0.250	300	120	2.5	
21.15	3.435	0.235	315	135	2.33	
21.30	3.415	0.215	330	150	2.0	
21.45	3.385	0.185	345	165	2.1	
22.00	3.35	0.150	360	180	2.0	
22.15	3.34	0.140	375	195	1.92	
22.30	3.335	0.135	390	210	1.85	
22.45	3.33	0.130	405	225	1.8	
23.00	3.33	0.130	420	240	1.75	

PUMPING TEST RESULTS

Transmissivity (T) : $2.3 \times Q$
4 II h

Q : Discharge m^3/day

h : Difference in Residual drawdown per log cycle.

T : $\frac{2.3 \times 950.4}{4 \times 3.14 \times 0.58}$: 300.06 $\text{M}^3/\text{d/m}$

Specific capacity L C : Discharge / Drawdown
: 660 / 7.82 where Q - in
lpm.
: 84.4 lpm/m of drawdown.

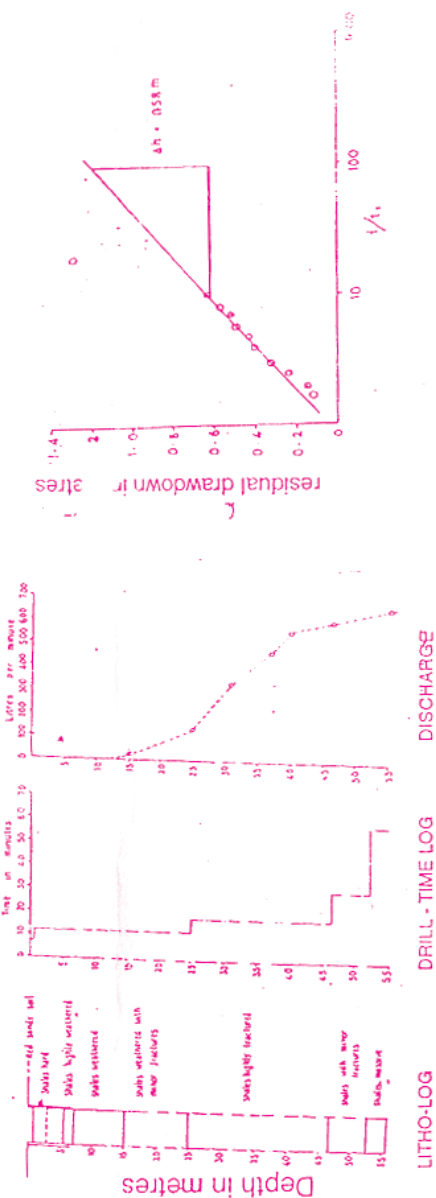
Fig
Pumping Test Data Analysis



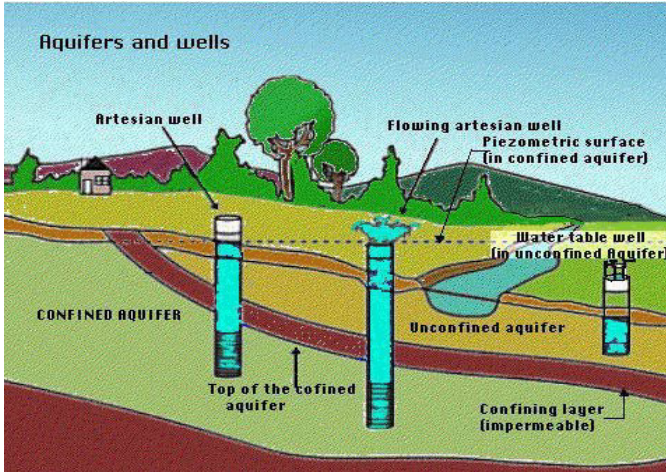
Pumping Test Data Ana.

(For details see page 130)

Details of the Bore-Well at Devangaram (V) Giddalur (M) Prakasam (Dist.)



31. PIEZOMETRIC STUDY



PIEZOMETRIC SURFACE :

Groundwater may be said to have artesian, normal or subnormal pressures or pressure heads depending on whether water levels in the well are above or below the watertable (Meinzer).

The imaginary surface extended through static water levels of wells tapping confining aquifers is called piezometric surface or piestic surface. The confined beds are classified as positive or negative.

Positive beds prevent or retard upward movement of ground water, where as negative ones similarly functions downward movement of groundwater. Semiconfined denotes aquifers when the confining layer is semi permeable (AquaTard) or when the permeable or semi permeable rock are lenticular or impersistant in areal extent.

FUNCTIONS ON PIEZOMETRIC SURFACE :

Atmospheric pressure changes are unevenly distributed over the confined aquifer and over the water column in a well tapping the confined aquifer the hydrostatic pressure of water in the well is counter-balanced by the hydro-static pressure of the groundwater with-in the aquifer. The total load exerted by the superincumbent beds on the confined aquifer is partially borne by the upward pressure of confined water and partially by the structural skeleton of the aquifer. In case of wells when the pressure differential causes piezometric levels fluctuate in response to barometric changes. Major piezometric levels fluctuations are related to seasonal rainfall and pumpage.

SLOPING PIEZOMETRIC AND PHREATIC SURFACE :

The drawdown curves by a well discharging at a constant rate from an aquifer having a sloping piezometric surface or watertable does not attain the circular area of influence characteristic of radial flow pattern but is distorted towards groundwater divide, down gradient from the well and slope towards the well on the upstream side.

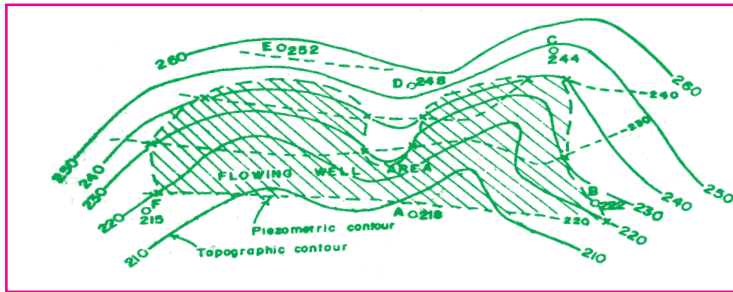
GEOMORPHIC CONTROL OVER ARTESIAN CONDITION :- PIEZOMETRIC SURFACES :

Artesian pressure distribution in aquifers is controlled by subsurface geology topographic inequalities between the intake area and the rest of aquifers. Most of the artesian basins with spectacular free flowing wells are restricted to valleys and slopes with marked changes in relief with low gradients of piezometric surfaces.

The extent of the area of artesian flow (flowing well area) can be demarcated by measuring the water levels in wells tapping the same confined the aquifer at comparing their position in relation to topographic elevations both refer to a common data contours of

the piezometric surfaces are first drawn and superpose on contour map of the ground surface the points at which the contours of the same values intersect are then marked and connected. The side towards which the peizometric surface lies above the ground surface is the area of artesian flow.

Fig :-



- Topographic Contours
- - - Piezometric Contours
- Intersecting points of Topographic and Piezometric contours
- Flowing Well Area

DATA OF SOME ARTESIAN BASINS :

SI No.	Name fo the basin	Land surface	Slope of flow peizometers surface	Maximum freeflow & formation
1.	Terrain (Ninithol UP)	7 to 16m per/km	1.42-4m per/km	200m-per hr. in Quarternary formation

2. Combay (Gujarat) 1 - 2m 0.52-1km 70m per hr.
p/km Quarternary, Ter
3. Neyvele (Tamilnadu) 1-2m 1m/km 270 mts per hr
Terryshary for.

Recently hydrology project has been established to study the piezometric levels in different rock terrains and basins in the State of Andhra Pradesh. Bore-wells at different depths at the same place under cluster well programme and bore-wells in consolidated and semi-consolidated rocks and tube and filter points in soft and unconsolidated terrains of sand stones and alluvial tracts were constructed for the assessment of draft conditions, water-level fluctuations, in response to rainfall.

HYDROGRAPH ANALYSIS :

Hydrograph may be defined as the graphical representation of fluctuating water levels in response to rainfall during period of unit dimensions in cyclic process. It may be taken as the graph showing the time distribution of the water level in a well or stage of river. Normally the hydrographs are drawn taking the normals for one year during the decade.

The normal rainfall has to be taken as the datumline for computing the data of water fluctuations in response to different intensities of rainfall in different months.

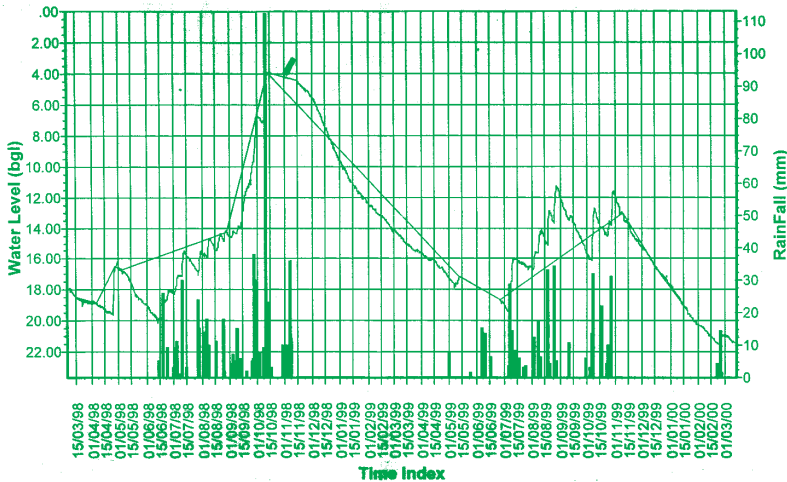
In hard rock terrains and also in case of shallow basements the effect of rainfall is observed subsequently some time later. Such conditions of the slume raise in water levels are observed in piezometers established at Podili, Addanki, Pamuru of Prakasam District which are occupied by crystallines. In these cases it is evidenced by the facts that the raise in water levels is observed during the subsequent

months after the rainfall in the previous month.

But in case of alluvial tracts and sedimentary basins of secondary pore development there is an immediate effect of rise in water level, soon after the rainfall. Hence the piezometers established at Jarugumalli, Chinnaganjam, Giddalur etc., indicate immediate raise within the same month. These areas are occupied by alluvial tracts and Cuddapahs.

Typical hydrograph from piezometric data at Giddalur is depicted.

Fig :-



CONCLUSIONS :

The Hydrological investigations are mainly concerned with the budgeting and management of groundwater in regard to its utility keeping in veiw of the basin structures. The observation well network plays an important role in indicating the quantum of drawal of groundwater from the basin leased on the study of the fluctuations of water levels and the depleting effects in response to seasonal

rainfall and draft. The Piezometric study and regular monitoring of the other observation wells are highly helpful for regulating the usage of groundwater structures.

Even in command areas such data are important for the study of water-logged conditions and to suggest the remedial measures such as conjunctive use of both surface and groundwater. Hence regular record of water levels should be maintained for the purpose or usage of groundwater within the limits of safe yield without causing harmful situation to groundwater body. Thus the ecological balance may be perfectly maintained in an area.

While computing the water levels from observation network, it is essential to demarcate the river basins formation wise and also command areas. The interpretation may be perfectly done on the grounds of validity and reliability, if such methodology is followed in the demarcated subbasins.

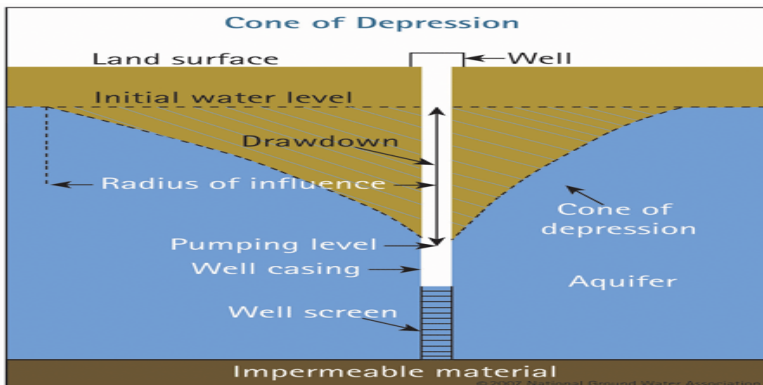


32. CONE OF DEPRESSION - INTERFERENCE EFFECTS - SPACING

During pumpage the static water level around each pumping well declines taking depressed conical shape. This is called cone of depression and is depicted in figure.

The perfection of conical shape around the pumping structure depends on the boundary effects. In Isotropic medium (of uniform conditions) the perfection of cone depression in all sides is more pronounced rather than in an isotropic medium of Non-uniform conditions, in which the cone depression is more flattened, based on the proximity of the boundaries. During the development of cone of depression the depressed static water level in the pumping well affects the water level in the neighbouring wells in the vicinity and thus causes the interference effects.

Such interference of water level in the nearby wells leads to decline of the discharges and also failures in some cases. The intensity of interference effects depend on the rate of pumpage, type of usage etc., To avoid such interference, sufficient spacing should be maintained between two adjacent wells. The stipulated spacing does depend on the potentiality of the aquifer, type of usage and pumping rate in an area. Hence pumping tests should be conducted to suggest proper spacing for safe yield and proper utility of ground water.



33. QUALITY DETERIORATION OF GROUND WATER IN CONTACT ZONES OF DIFFERENT ROCK TERRAINS

Quality of groundwater is essential in its utility for various purposes such as agriculture drinking industrial etc. Its natural degradation due to terrain conditions may be called deterioration of groundwater quality. Due to pollution also groundwater quality may be deteriorated but this is quite artificial. If the pollutants are avoided the groundwater quality may be improved but it is not possible in case of natural degradation. In most of the cases quality deterioration of the ground water occurs due to occurrence of clay minerals such as kaoline, sericite, etc., in contact zone of rock terrains of crystallines and gondawans, crystallines and laterites, crystallines and alluvium etc., But the clay formation does not occur in case of disposition of sedimentaries in bands of shales, phyllites, and slates. This feature is perceived in Cuddapah basins. Due to thrusting against the crystallines the peripheral zones of Cuddapah basin developed secondary pore spaces which facilitate sufficient recharge of groundwater as workable reserves and are developed by bore and dug-cum-borewells, in Cuddapah formation of Markapur division of Prakasam District. Even though the shale is poor aquifer the secondary openings formed are responsible for rendering the area to be productive for the groundwater development. As per field observations in most of the cases altered products of minerals like clay, sericite etc., formed at the contact zones. The thickness of clay is enormous in case of gondwana formations. If the formation tappers at the upper zones above the watertable there is no possibility for the alteration of soft rock in the form of clay and the groundwater body is safe with out any deterioration of the quality. If the soft

rock such as gondwanas extended beyond the water table without having any considerable thickness the problem of encounterance of clay beneath the sand stones arises and this causes drilling troubles and the quality of ground water will be deteriorated with meagre yields. Even if the entire clays are cased the quality and quantity of groundwater are not in improved conditions in the under lained crystallines. Such cases are studied in Kandlakunta(Gondwana shales followed by crystallines) the thickness of the Gondwanas is limited to Shallow depths above the watertable and hence there is no occurrence and scope for the formation of the clay and quality deterioration. But in the case at Pamidipadu, Pavuluru, Rachapudi the gondwanas extends upto the depths just beneath the watertable and there is problem of quality deterioration because of the Gondwanas which are limited to shallow depths. There is clay formation between Gondwanas and underlained crystallines. If the groundwater structure is constructed with in gondwanas fresh water may be encountered. If it is further pierced, there is every possibility of the deterioration of quality of ground water.

Similar is the case with laterites with crystallines, laterites and alluvium in Gudur taluq in Nellore district. In most of the lateritic patches the thickness is extended beyond the watertable and the quality is fairly good within the lateritic patch. But beneath this laterite, clay is encountered that results in quality deterioration with meagre yields. These features are observed near Gudali, Gunapadu, Mettu, Chettedu in Swarnamukhi River basin.

If the thickness of Gondwanas is less, the quality deterioration occurs in case of a contact even in the soft rocks such as a laterites and the alluvium. These features are observed in Narakoduru, Chebrolu of Tenali taluq of the Guntur District and also in S.Konda, Tangutur, Kandukur of Prakasam District, and Arambakkam and Akkapeta, Sullurupet in Nellore District.

Hence quality deterioration naturally occurs in contact zones of hard and soft rocks such as crystallines and sand stones, Crystallines and alluvium, crystallines and laterites, Laterites and sand stones, Laterites and alluvium and sand stones and alluvium. Hence it is important to note that the groundwater structures must be selected within the patch of the soft rock of considerable thickness and piercing beneath this formation is quite undesirable because of the quality deterioration and meagre yields due to encountrance of clay.



34. AQUACULTURE

In recent years the aquaculture has gained much importance along coastal line. While taking up of the aquaculture precautionary measures are of paramount importance. There is every possibility of polluting groundwater and also degrading soil fertility of agriculture lands, if such precautions are not followed. For the maintenance of ecological balance along coastal line, care has to be taken up in organising aquaculture.

The following are some of the precautionary measures :

- 1) In case of adjacent villages the proposed site of the Prawn forms should be constructed atleast 500 mtrs. away from the village built up area and also drinking water source.
- 2) There should not be any contact of sea water with ground surface in water feeding system and disposing system .
- 3) The supply canal and drainage canal should be designed so that they will not be any leakage due to over flow.
- 4) As the proposed area is occupied mostly by coastal alluvium the infiltration rates will be high. Hence the infiltration should be brought under control by providing clay grouting necessary thickness at the bottom of the ponds including inner sides which will be in contract with water.
- 5) The core of bunds should also be constructed with impervious material to eleminate the seepage through them.
- 6) When the semi-intensive or intensive farming is adopted the biological Oxygen demond (BOD) of effluent water is very high if this waters of high biological oxygen demand are directly disposed in the area the dissloved oxygen level will considerably fall in the surrounding sea water which is harmful

to the natural marine flora and fuana. Hence the effluent water should be treated by effluent treatment plants to bring down the biological oxygen demands to safe level so as to maintain the ecological balance of the area.

- 7) All the storage tanks and Hatchery pits must be made water tight to avoid contamination of groundwater.
- 8) Deforestation along coastal line should be avoided. During cyclone there is every possibility of over flowing the sea towards land if such deforestation is done along coastal line.
- 9) The waste waters should be let out after having given the secondary treatment so as to avoid bacterial contamination.
- 10) It is always safe if the site of an aquaculture is away from coastal line at a distance range of 500 mtrs and more.
- 11) If Prawn farms should be kept away from the Agricultural lands at about 250-500mtrs so as to protect their fertility. Hence the prawn culture may be taken up leaving vacant land in their own site under operation to protect the fertility of the soil if there are agriculture lands in the vicinity.
- 12) Observation wells should be established at different distances from the prawn pond along the coastal line to study the effect of aquaculture on the groundwater levels and its quality.
- 13) For the affective Prawn culture some chemicals are used for the growth of Prawns. Such chemicals are harmful for the Pisces, if the waste waters containing these chemicals are released from the Prawn ponds into the sea without secondary treatment.

If the above precautionary methods are followed, the aquaculture may be takenup on safe lines.



35. UTILITY OF GROUNDWATER- CERTAIN GUIDELINES

Groundwater is not available at all places in abundant quantities for its use both qualitatively and quantitatively. For this necessary investigations have to be carried out for the identification of productive areas of groundwater to construct suitable wells. In this hazardous process, the agriculturists should take necessary precautionary measures.

i) Wells : Wells are the groundwater structures through which water is bailed out in a potential area. While constructing such structures it is necessary to select the site for an appropriate well as per terrain conditions. For example filter points are feasible in alluvial tracts, and dug wells in rock terrains of shallow basements. In such cases bore wells are not feasible. Hence the farmer should construct wells in accordance with the terrain conditions.

ii) Spacing : Stipulated spacing should be followed in any area. While pumping the water level goes down causing a conic depression around it. It interferes with the water level in the adjacent area. To avoid such interference due to cone of depression, spacing has to be followed.

iii) In Drought prone area districts like Prakasam and Anantapur, the utility of groundwater plays prime role. Due to increased needs of public the draft also will be increased by constructing more number of structures. As a result the groundwater levels deplete

to the abnormal depths giving less yields. At this juncture, the farmers are following the methods of deep drilling to draw the static reserves from depth zones, which is neither economical nor standard. Such deep borewells do not give copious supplies and lead to failures within short span.

To draw the water from the static reserves is not safe and it causes disturbance to the ecological balance. In future proper groundwater recharge does not take place in such areas of exploitation even after the normal rainfall. Hence such procedure of drawing out water from static reserves should be stopped. Hence drawal of groundwater from dynamic reserves by safeguarding water levels by artificial methods is recommended.

iv) Watershed Management : It is a collective approach for the benefit of all to develop an area in regard to the artificial recharge of groundwater. It requires the cooperation of all people in the village or in any area under consideration. The watershed management may be viewed as an immediate remedial measure for safeguarding water levels. It also conserves soil moisture and arrests soil erosion. (for details see watersheds, chapter-22)

v) Conjunctive use : In command areas, the groundwater has to be utilized under conjunctive use. (simultaneous use of both ground and surface water). This reduces the water logging effect in an area which is a serious problem for causing efflorescent farms due to accumulation of salts.

vi) Aquaculture : At present the coastal areas have gained importance for the aquaculture. Necessary precautions should be

taken in this regard for avoiding the pollution effects of groundwater logging, there by causing damage to fertile lands, and unhygienic procedures of letting out waste water without secondary treatment leads to harmful situation for biological kingdom. For this, grouting of tank beds and bunds has to be made, keeping the farms at sufficient distance from the drinking water sources, giving secondary treatment for out let water, leaving margins in their lands around the farms, so as to avoid damage to the fertility of adjacent agricultural lands.

vii) Wet crops under well irrigation should be avoided as it is not economical. The structures may be utilized as supplementary sources for canal irrigation.

viii) The farmers should protect the forests. Afforestation may be encouraged for the maintenance of ecological balance in any area.

ix) Appropriate pump sets have to be installed for the appropriate discharge ranges. Lower hp pump sets for higher discharges donot affect continuous flow. But higher hp pump sets for lower discharges affect the continuous flow leading to failures.



36. IMPORTANT DEFINITIONS

Aquiclude : Aqua means water, clude means shut or close. A geologic formation although porous and containing water, not capable of transmitting water because of high resistance to flow. Ex: Clay lenses, shales, etc.

Aquifer: Fer means to bear. A geologic formation containing water in its voids and which yields significant quantities of water. Ex: sandstone, gravel etc.

Aquifer Confined: It is completely saturated aquifer whose upper and lower boundaries are impervious layers. In nature completely impervious layers rarely exist. In confined aquifers, the pressure of the water is usually higher than that of the atmosphere. The water in a confined aquifer is known as Artesian Confined water.

Leaky or Semi-confined aquifer: This is a completely saturated aquifer that is bounded above by a semi-pervious layer, and below by a layer that is either impervious or semi-pervious. A semipervious layer is defined as a layer which has a low, though measurable, permeability.

Unconfined aquifer: This is a permeable bed only partly filled with water and overlying a relatively impervious layer. The water in an unconfined aquifer is called phreatic water.

Aquitard: A geologic formation of a semipervious nature, which transmits water at a slow rate, when compared to an aquifer. Ex:- clay lenses interbedded with silt or sand.

Aquifuge: Fuge means to drive away. A geologic formation containing no interconnected pores and which therefore can neither absorb nor transmit water. Ex:- Basalt, Granite etc.

Artesian Structure: A series of sedimentary rocks disposed in a way that an aquifer holds water under a pressure head between two layers of impermeable strata.

Artificial Recharge: It is the practice of increasing the amount of water that enter a groundwater reservoir by artificial means and this is accomplished by augmenting the natural infiltration of precipitation or surface water into underground formation by some method of construction, spreading of water or by artificially changing the natural conditions. Artificial recharge is one method of modifying the hydrological cycle and thereby providing groundwater in excess of that available by natural processes.

Darcy's law: Henry Darcy, the French Scientist found that the discharge of groundwater is directly proportional to the hydraulic slope and cross sectional area of an aquifer that is transmitting the water. It is expressed as $Q=VA$ and $V=KI$. Therefore $Q=KIA$ Where Q =discharge, K =hydraulic conductivity, I =change in elevation divided by the distance travelled, A =cross sectional area of the aquifer and V =velocity of flow.

Depletion: Continued withdrawal of water from a surface or stream of Ground water or reservoir or basin at a rate greater than the rate of replenishment.

Discharge of a stream: The total volume of water passing a given point in a given time.

Draw down: In a well means the extent of lowering of the water level when pumping is in progress or when the water is discharging from a flowing well. Draw down=static water level - pumping level.

Drainage basin: The total area that contributes water to main stream via its tributaries; and sheet wash is the drainage basin of the major stream.

Drainage divide: A divide is a height of land separating drainage basins.

Electrical conductivity: The reciprocal of electrical resistivity. The resistivity is the resistance in ohms of a conductor, metallic, which is 1cm long and has a cross sectional area of 1 cm². Hence electrical conductivity is expressed in reciprocal 'ohms - cm'.

Evaporation: Emission of water vapour by a wet or a free surface of water, in liquid or solid state, at a temperature below critical point.

Ground water: Body of water which occurs in the saturated zone and where motion is determined by gravity and the frictional forces produced by the motion itself.

Ground water hydrology: The science of occurrence and distribution of water below the surface of the earth.

Hydrologic cycle: The route that earth's water takes, from precipitation onto the earth's surface, to its movements on or near the surface, and finally, to evaporation-transpiration back into the air.

Hard Water: This is the ground water that contains dissolved calcium carbonate and magnesium. It makes a scum when soap is added to the water.

Hydrology: May be defined as the science of water and does deal with occurrence, circulation and distribution of water of the earth and its atmosphere. As a branch of Earth science it is concerned with water in streams, lakes and rainfall water occurrences below the surface of the earth in the pores of soil and rocks.

Hydrogeology: Deals with the hydrological aspects in relation to the nature of lithological units of the earth. It mainly deals with ground water origin, occurrence and movement in different rock terrains and its development through different types of wells. Both Hydrology and Hydrogeology are interrelated subjects. Geohydrology differs from hydrogeology only by its less emphasis on Geology.

Hydrograph: This is a graph showing the time distribution of water level in a well or stage of a river.

Infiltration: This is the forcible penetration of precipitation into the ground surface of the earth through the openings.

Isohyet: This is the line connecting points of equal rainfall.

Lineament: It may be defined as the directional trend of linear structures on the surface of the earth, and they are recorded by remote sensing.

p^H of pure rainfall: It is about 5.6. This is acid too, but acid rain is defined as rain that is more acid than normal rainfall.

Perched water table: This is a local water table that is at higher elevation than the main water table and generally exists largely because

of the presence of an impermeable layer such as shale beneath it.

Permeability (K): This is the ability of sediment or a rock to transmit water i.e., to allow water to pass, through connected pores. A material can be porous and yet be impermeable as eg. Pumice.

Porosity (N): This is the ratio of the total volume of voids (pores) to the total volume of rock or soil containing the pores. The range of porosity varies from 0.2 to 0.6. $\text{Porosity} = \frac{\text{volume of pores}}{\text{total volume of mass}}$. Porosity is thus a measure of water/holding capacity of lithological formation.

Precipitation: This denotes all sorts of the water that reaches the surface of the earth.

Runoff: This may be defined as the water that falls on the ground, flows from higher gradient to lowlying areas. Hence all sorts of water that flow in favourable channels in any other direction on the surface of the earth may be taken as run off.

Sea-water intrusion: The sea-water intrusion may be defined as an entry or encroachment of sea water into coastal aquifer, when the discharge of groundwater into the oceans is decreased due to known reasons. The contact surface in between the salt water and fresh water is known as Interface.

Specific Capacity: Specific Capacity of a well is its yield per unit of draw down usually expressed as gpm/ft of draw down.

Specific retention: The percentage of water retained in the rock is called specific retention.

Specific yield: The amount of water that drains from saturated

rock under the influence of gravity, expressed as a percentage of the total volume of the rock is called specific yield. This is often called effective porosity, because it represents the pore space that surrenders water to wells and so is effective in supplying water for human use.

Coefficient of Transmissibility : may be defined as the rate at which water of prevailing kinetic viscosity is transmitted through unit width of aquifer under unit hydraulic gradient.

$$T = \frac{264Q}{4\pi \Delta h} = \text{m}^3 / \text{day} / \text{mtr.}$$

($Q = \overline{\text{discharge}}$, $\Delta h = \text{Hydraulic gradient}$)

Storage Coefficient : is defined as the volume of water that the aquifer releases from or takes into storage per unit change in the component of head normal to that surface. The storage coefficients 0.00005 < to 0.0005 < changes are indicating the large pressure changes are required for releasing substantial quantities.

Springs: A spring is a natural discharge point where ground water issues from rock or soil in concentrated flow.

Static water level: This is the level at which water stands in a well when no water is being taken from the aquifer either by pumping or by free flow.

Watershed: Watershed may be defined as a Physiographic unit having definite boundaries within which the precipitated water will be drained towards the common channels and let out through single or limited outlets.

Water table: The upper surface of the zone of saturation under atmospheric pressure.

Zone of Aeration: This is the zone from ground surface to water table, comprises soil water, intermediate and Capillary zones. Water in the zone of aeration is called vadose water.

Zone of saturation: This is the zone below the water table.

Piezometer : may be defined as a borewell with automatic water level recorder intended for recording ground water levels in resonance to seasonal fluctuations due to rain or draft in the vicinity of the influenced area.



Appendix 2

CONVERSION FACTORS
AND CONSTANTS

Length

1 in = 2.540 cm
 1 ft = 12 in. = 30.48 cm
 1 yd = 3 ft
 1 mile = 5280 ft = 1.609 km

Volume

1 cm³ = 0.264 x 10⁻³ U.S. gal
 1 ft³ = 7.48 U.S. gal
 1 U.S. gal = 3.785 liters
 = 231 in³ = 0.134 ft³
 = 3.07 x 10⁻⁶ acre-ft
 1 acre-ft = 43,560 ft³
 = 3.26 x 10⁵ gal
 1 cfs-day = 1.98 acre-ft

Specific Weight

Water: 1 ft³ = 62.37 lb at 60°F
 = 62.31 lb at 20°C
 1 gal = 8.338 lb at 60°F

Area

1 sq. in. = 6.452 cm²
 1 sq. ft. = 929.03 cm²
 1 acre = 43,560 ft² = 4.047 x 10³ m²
 1 sq mile = 640 acres = 2.590 km²

Weight

1 lb = 435.59 g = 16 oz = 7000 grains

Water Quality

1 ppm = 1 mg/l
 1 grain/U.S. gal = 17.1 ppm
 1 taf = 735 ppm

Discharge

1 cfs = 449 gal/min
 = 6.46 x 10⁵ gal/day
 = 1.98 acre-ft/day
 = 28.3 liters/sec

Density

Water: 1 cm³ = 0.999g at 60°F
 = 0.998 g at 20°C
 1 ft³ = 1.938 slugs at 60°F
 = 1.936 slugs at 15°C

Viscosity

Water : 1.124 centipoises at 60°F
 1.005 centipoises at 20°C
 1 centipoise = 0.01 poise = 0.01 dyne-sec/cm²
 1 lb-sec/ft² = 478.8 poises

Pressure

1ft water at 4°C = 2.242 cm Hg
 = 0.4335 lb/in²

Permeability

(K_s = lab. coef. of permeability)
 1 K_s = 4.72 x 10⁻⁵ cm/sec.
 1 darcy = 0.987 x 10⁻⁸ cm²
 = 1.062 x 10⁻¹¹ ft²
 = 18.2 K_s (for water at 60°F)
 = 0.966 x 10⁻³ cm/sec
 (for water at 20°C)
 1 cm/sec = 1.02 x 10⁻⁵ cm²
 (for water at 20°C)



Grand Canyon - Colorado River Vally - Arizona - USA

జె. పంగులూరు మండలం చందలూరు గ్రామ నీటి పథకాభివృద్ధికి సమకూర్చిన రెండవ భూగర్భజల నిధి. ఈ క్రింది పటములో చూపబడినది.



Total Depth = 125 feet, Depth to water level = 55 feet, on dt. 09.06.2016. Pump set fixed = 10 HP Sub merscible. Rate of discharge range = 8000 to 10000 GPH



Mr. Anjaneyulu is speaking on conjunctive use of GW & SW in National Seminar held at Vijayawada on 11-02-2016. Govt. of Andhra Pradesh, Amaravathi.

BIBLIOGRAPHY

1. *Optimum Weathering* : M. Anjaneyulu
2. *Basic Principle of Hydro Geology* : R.M.Rao, A. Subrahmanmyam & M. Anjaneyulu
3. *Ground Water Assessment, Development and Management* : K.R.Karant
4. *Ground Water Hydrology* : Todd
5. *Principles of Hydrology* : Davies and Dawist

The assistance and co-operation of A.Srinivasa Rao ADH and A.Sambasiva Rao, AHG, GW, Guntur in depicting the Karstographic features are much appreciated.

We thank the concerned for the diagrams taken from other sources like internet etc.,



పొలరాతి గుహలు, చిలి.